

SABINA MERLO, Professore Ordinario, ING-INF/07

<http://orcid.org/0000-0003-2559-5939>

<https://scholar.google.it/citations?hl=it&user=HzWkZdUAAAAJ>

ResearcherID: B-2010-2017

Scopus author ID: 7004308534

<https://www.linkedin.com/in/sabina-merlo-3b834928/>

Riassunto delle pubblicazioni (2018)

Riviste internazionali con revisori anonimi 68 (di cui 64 indicizzate su WOS e/o Scopus)

Contributi su libri internazionali 13

Contributi a congressi internazionali 25 }

Abstract a congressi internazionali 15 } di cui 28 indicizzati su Scopus

Conferenze e riviste nazionali 67 }

Brevetti: 1 internazionale e 3 nazionali

Riassunto Citazioni (2018)

Totale citazioni

Google Scholar 1700

Scopus 1199

ISI Web of Science 960

Hirsch Index

Google Scholar 22

Scopus 19

ISI Web of Science 17

Google Scholar i10-index 41

Responsabilità in progetti di ricerca finanziati

+2018-2021 Collaboratore internazionale nel progetto “Advanced piezoelectric devices” Grant no. 273248 della University College of Southeast Norway (HSN), finanziato da The Research Council of Norway.

+2017-2018 Responsabile del contratto di ricerca commissionato da RAW srl, “Progetto, realizzazione e caratterizzazione di un sensore in fibra ottica per la rivelazione della flessione di aghi-sonda per il trattamento dei tumori solidi”, parzialmente finanziato da Regione Lombardia, FESR Bando Innodriver-S3 2017.

+2017-2018 - Membro dell’Unità di Pavia del consorzio per il progetto “Fluidica intelligente per Life Science” –Amnesso alla negoziazione da Regione Lombardia - FESR 2014-2020.

+2015-2017 - Responsabile del contratto di ricerca con FINAOSTA relativo alla consulenza tecnico-scientifica per la fase di istruttoria e la fase di gestione del piano di ricerca presentato dalla società “Novasis Innovazione S.r.l.” relativamente al progetto “NOVASENS – Nuova piattaforma sensoristica per sistemi di rilevamento smart di emissioni di gas inquinanti e tossici”.

+2016-2017 - Responsabile del contratto di ricerca annuale finanziato da STMicroelectronics, “Ideazione e realizzazione di set-up di misure elettro-ottiche per dispositivi MOEMS con relativa caratterizzazione”.

+2012-2014 - Responsabile del contratto di ricerca biennale finanziato da STMicroelectronics, “Caratterizzazione opto-elettro-meccanica di componenti MEMS”.

+2012-2014 - Coordinatore nazionale del progetto biennale finanziato dalla Fondazione CARIPLO, “Microstrutture tridimensionali in silicio per la rivelazione diretta di cellule tumorali circolanti mediante tomografia ottica”.

+2010-2012 - Coordinatore nazionale del progetto biennale finanziato dalla Fondazione Alma Mater Ticinensis (Pavia), “Verso lo sviluppo di un biosensore ottico basato su cellule: studio di cristalli fotonici in silicio microlavorato come dispositivi micro-ottici per il monitoraggio di attività cellulari”.

+2008-2010 - Responsabile locale dell'Unità di Pavia – Progetto PRIN-MIUR 2007 “Microsistemi Optofluidici a Cristalli Fotonici per Biosensori”.

+2006-2009 - Membro dell'Unità di Pavia del progetto PICASSO, finanziato dall'Unione Europea (FP6).

+2007-2009 - Responsabile dell'attività di ricerca relativa alla realizzazione e caratterizzazione ottica di microstrutture in silicio, inserita nel programma del progetto del Dipartimento di Biochimica di Pavia finanziato dalla Fondazione CARIPLO nel 2007.

+2007 - Responsabile del contratto per attività di Formazione in azienda finanziato da Alcatel.

+2002-2004 - Responsabile locale dell'Unità di Pavia – Progetto PRIN-MIUR 2002 “Matrici di microspecchi in silicio per commutazione ottica”.

+2001-2004 - Membro dell'Unità di Pavia del progetto OCCULT, finanziato dall'Unione Europea (FP5).

Seminari invitati

2018 STMicroelectronics, Agrate Brianza

2017 SIE2017 PhD School, Palermo

2016 MIT, Department of Material Science and Engineering, Cambridge, MA, USA

2016 Boston University, Department of Electrical and Computer Engineering, Boston, MA, USA

2016 UniPV, MTE, “11 donne di scienza all'Università di Pavia” - 8 Marzo

2013 UniPV, Department of Molecular Medicine, DIGP Seminar series

2012 UniPV, Divulgazione risultati finali FAMT

2010 Istituto Ortopedico "Rizzoli", Bologna, Italia - Corso "Optoelettronica Biomedica"

2009 University of Washington, Center for Bioengineering, Seattle, WA, USA

Relazioni invitate

2017 SIE-EDU, Seconda Conferenza Nazionale sulla Formazione Superiore in Elettronica, Roma

2015 Fotonica 2015, AEIT Italian Conference on Photonics Technologies, Torino [A.60]

2013 Fotonica 2013, 15° Convegno Nazionale delle Tecnologie Fotoniche, Milano [A.50]

2010 International Conference Porous Semiconductors – Science and Technology PSST-2010, Valencia (Spain) [P.18]

2005 Fotonica 2005, 9° Convegno Nazionale sulle Tecniche Fotoniche nelle Telecomunicazioni, Trani (BA) [A.28]

2004 Photonics Europe, Strasbourg, France [P.13]

2004 Elettroottica 2004, 8° Convegno Nazionale Strumentazione e Metodi di Misura Elettroottici, Pavia [A.24]

1995 L'Interferometro Laser per l'Industria, Milano [A.10]

1991 Fotonica '91, 2° Convegno Nazionale sulle Tecniche Fotoniche per l'Informazione, Sirmione [A.2]

Periodi all'estero

10/2016 – 12/2016 Visiting professor, MIT Microphotonics Center, Cambridge, MA, USA.

07/2012 Visiting professor, Optoelectronic Research Centre, University of Southampton, UK.

07/'88-09/'89 Research assistant, University of Washington, Seattle, WA, USA.

09/'87-06/'88 Graduate student, University of Washington, Seattle, WA, USA.

Premi

2016 – Fellowship - Pavia-Boston Project.

2013 - Premio miglior poster – Sezione Methodology – Technology, XXXI Conferenza Nazionale di Citometria [A.55].

2012 - Erasmus Staff Mobility Grant.

1996 - Premio speciale del “Gruppo Specialistico Optoelettronica” dell'AEI per il miglior lavoro presentato al convegno nazionale Elettroottica '96 [A.13].

1996 - Premio AEI “O. Bonazzi” per l'anno 1996 per il miglior articolo pubblicato dall'AEI nel biennio 1994-1995 nel campo dell'elettronica sperimentale [A.8].

1987 - Rotary Foundation Scholarship for International Understanding

CURRICULUM DELL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA, DIDATTICA E ISTITUZIONALE

- I. **Curriculum vitae**
- II. **Attività scientifica**
 - Sintesi introduttiva**
 - 1. **Misure interferometriche**
 - 2. **Microsistemi in silicio**
 - 3. **Crittografia ottica e fenomeni caotici in oscillatori laser**
 - 4. **Sensori e componentistica di misura in fibra ottica**
 - 5. **Limiti di rumore in sistemi elettroottici**
- III. **Attività didattica**
- IV. **Attività organizzative ed istituzionali**

I. CURRICULUM VITAE

Nata a Pavia il 30 giugno 1962, Sabina Merlo (*S.M.*) ha frequentato il corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, presso l'Università degli Studi di Pavia (UniPV) ed ha conseguito la Laurea, con lode, il 24 giugno 1987, discutendo la tesi: "Sensori a fibra ottica per applicazioni chimiche e biomediche", relatore il Prof. Silvano Donati.

Nel 1987 ha vinto una borsa di studio della Rotary Foundation, "Per la Comprensione Internazionale", per svolgere attività di studio e ricerca nell'anno accademico 1987-1988 presso la University of Washington di Seattle (U.S.A.), ed ha proseguito questa attività fino al settembre 1989 dapprima come Assistente di Ricerca della University of Washington, e usufruendo in seguito della borsa di studio per l'estero del corso di Dottorato di Ricerca italiano. Nel 1989 ha conseguito presso la University of Washington il *Master of Science in Engineering*, indirizzo Bioingegneria, con la tesi "Development of a fluorescence-based fiber optic sensor for detection of general anesthetics". Nel 1989 ha sostenuto con esito positivo l'esame di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di ingegnere.

Ha frequentato il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettronica ed Informatica (IV° ciclo), svolgendo attività di ricerca nel campo dell'Elettroottica sia all'estero che presso il Dipartimento di Elettronica dell'Università di Pavia sotto la guida del Prof. S. Donati. Nel 1992 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca presentando la dissertazione "Tecniche avanzate di fotorivelazione".

Da giugno 1992 a marzo 1993 è stata dipendente della Magneti Marelli, divisione Elettronica, di Pavia (settore Ricerca e Sviluppo) occupandosi di tecnologia dei circuiti ibridi per l'automobile. Ha partecipato a selezioni della Commissione delle Comunità Europee, settore "Tecnologie delle Telecomunicazioni", 1994, e settore "Ingegneria", 1991, risultando idonea per l'assunzione come Agente Scientifico presso gli uffici e i laboratori di ricerca della Comunità Europea.

Nel 1992 ha vinto il concorso bandito dall'Università degli Studi di Pavia per un posto di Ricercatore presso il Dipartimento di Elettronica, raggruppamento Elettronica, ed è entrata in ruolo in data 1/4/93, inserendosi nel gruppo di Elettroottica (responsabile Prof. S. Donati).

Nel 2000 è risultata idonea in una procedura di Valutazione Comparativa per Professore di Seconda Fascia (Professore Associato) nel Settore Scientifico Disciplinare K01X – Elettronica; è entrata in ruolo come Professore Associato in data 1/1/2001 presso il Dipartimento di Elettronica di Pavia, ora Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione (DIII), ed è confermata dal 1/1/2004 (SSD ING-INF/01, Settore Concorsuale 09/E3). Dal 1 novembre 2017 al 30 Settembre 2018 è stata Professore Associato (DPR 232/11 art. 2) – tempo pieno - col. C - cl. 4 - III anno. Ha conseguito l'Abilitazione Scientifica Nazionale (ASN) alle funzioni di professore di Prima Fascia nel settore concorsuale 09/E3 Elettronica nelle Tornate 2012 e 2013, valida fino al 2021. Dal 1 ottobre 2018 è Professore Ordinario, SSD ING-INF/07 Misure elettriche ed Elettroniche – tempo pieno - cl. 0.

Nel luglio 2012 è stata *Visiting Professor* presso Optoelectronic Research Centre, University of Southampton, UK, con il supporto di *Erasmus Staff Mobility Grant*. Nel 2016 (Ott. – Dic.) è stata *Visiting Professor* presso MIT Microphotonics Center (Cambridge, MA, USA) grazie al supporto del progetto Pavia-Boston di UniPV.

È *Senior member* dell'IEEE-Photonics Society e membro del Direttivo del Gruppo Tematico di Fotonica e Elettro-Ottica (FEO) dell'AEIT.

II. ATTIVITÀ SCIENTIFICA

Sintesi introduttiva

L'attività scientifica di Sabina Merlo (*SM*) si colloca nell'ambito dell'elettronica applicata, ed in particolare dell'optoelettronica sperimentale, con riferimento allo studio, progettazione e caratterizzazione di nuovi sistemi di misura e componenti, relativi anche ad applicazioni industriali. Ha coltivato e dato contributi innovativi nei seguenti filoni di ricerca:

1. Misure interferometriche: a retroriflessione con laser a semiconduttore e a bassa coerenza nell'infrarosso
2. Microsistemi in silicio: MEMS, MOEMS, Cristalli fotonici (per optofluidica e biosensori)
3. Crittografia ottica e fenomeni caotici in oscillatori laser
4. Sensori e componentistica di misura in fibra ottica
5. Limiti di rumore in sistemi elettroottici

In tali filoni, accanto ad una notevole attività sperimentale, è stato affrontato lo studio di questioni teoriche con approfonditi metodi di analisi. Pur privilegiando gli aspetti delle ricerche più affini alla propria connotazione culturale elettronica, *SM* si è dedicata al coordinamento e alla realizzazione di progetti di ricerca con carattere multidisciplinare, trasversali ai settori dell'ingegneria elettronica, all'ingegneria biomedica e alle telecomunicazioni. *SM* rappresenta un importante riferimento nell'ambito del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione (DIII) per studenti di vari corsi di Laurea che desiderano occuparsi di attività interdisciplinari tra le misure elettroniche e la bioingegneria.

SM si è dedicata allo studio e all'applicazione dell'interferometria a retroriflessione con laser a semiconduttore, per misure di spostamento di bersagli riflettenti e diffondenti, dimostrando per la prima volta, teoricamente e sperimentalmente, che è sufficiente un singolo canale interferometrico, corrispondente alla modulazione di ampiezza della potenza ottica emessa ed ottenuto per rivelazione diretta, per ricostruire lo spostamento del bersaglio senza ambiguità nel verso di movimento. I contributi scientifici fortemente innovativi di *SM* in questo settore sono stati di riferimento dal 1995 ad oggi per molti altri ricercatori.

Per quanto riguarda il filone relativo ai microsistemi in silicio, che comprende tre argomenti di ricerca prevalentemente sperimentali, la produzione scientifica di *SM* si è sviluppata a partire dal 2001. *SM* ha dimostrato sperimentalmente la possibilità di effettuare la misura diretta dello spostamento (anche nel piano orizzontale) di dispositivi mobili, MEMS e MOEMS, utilizzando l'interferometria a retroriflessione con laser a semiconduttore, superando così le limitazioni degli schemi interferometrici classici ed evidenziando i limiti della misura capacitiva. Si occupa tutt'ora dello studio e della caratterizzazione sperimentale del funzionamento statico e dinamico di microspecchi in silicio e di microlenti MEMS ad attuazione piezo-elettrica, analizzando tecniche di misura sempre più raffinate atte allo scopo.

Dal 2005, si occupa della caratterizzazione delle proprietà ottiche di cristalli fotonici verticali ad elevato rapporto d'aspetto, fabbricati con tecniche di attacco elettrochimico del silicio, e della loro applicazione nel campo dell'optofluidica, dei sensori di indice di rifrazione e dei biosensori ottici senza marcatori. È stata rivelata sperimentalmente, tramite sistema di lettura in fibra ottica, la presenza di bande fotoniche proibite, anche nel vicino infrarosso tra 1.0 e 1.7 μm , in dispositivi a quarto d'onda ibridi, e la dipendenza della loro riflettività spettrale dal materiale inserito, quali fluidi con diverso indice di rifrazione. È stata inoltre dimostrata l'applicazione di dispositivi a cristalli fotonici ibridi come trasduttori per biosensori molecolari basati su saggi immunologici nonché come microincubatori per lo studio di cellule in ambiente tridimensionale che svolgono anche la funzione di trasduttori ottici di attività cellulari che implicano modificazioni morfologiche delle cellule. Attualmente si occupa della applicazione di tecniche interferometriche per la caratterizzazione e lettura ottica di dispositivi micro-fluidici in vetro e in materiali polimerici, come sensori di concentrazione di soluzioni.

SM si è dedicata allo studio e alla caratterizzazione di fenomeni caotici in oscillatori laser, indotti dalla retroiniezione di potenza nella cavità laser. Lo studio del caos ha interessanti applicazioni nel settore della crittografia. In particolare, *SM* si occupa dal 2001 di sistemi laser caotici, per retroriflessione da specchio esterno, per la trasmissione sicura di dati in reti ottiche di comunicazione, studiando teoricamente e sperimentalmente metodi per la generazione del caos e per la sincronizzazione tra trasmettitore e ricevitore, schemi di mascheratura caotica e metodi di estrazione del messaggio crittografato su portante caotica, adatti all'impiego non solo su lunghe tratte di fibra ottica ma anche per la propagazione in spazio libero.

SM si è anche dedicata allo studio, realizzazione e caratterizzazione sperimentale di sensori a fibra ottica quali un biosensore per il monitoraggio dell'anestesia generale (che ha portato all'assegnazione di un brevetto americano, essendo anche uno dei primi biosensori ottici dimostrati sperimentalmente), un sensore per il monitoraggio di infrastrutture, e sensori per la misura del campo magnetico. Ha anche sviluppato componenti a fibre ottiche per applicazioni in sistemi di telecomunicazione, quali il rotatore di polarizzazione, l'isolatore ottico tutto-fibra, e gli attenuatori a film metallici depositi in punta di fibra.

S.M. ha anche affrontato alcuni argomenti di ricerca prevalentemente teorici, relativi ai limiti di rumore in sistemi elettroottici, quali la possibilità di superare il limite quantico di rivelazione utilizzando radiazione con statistica subpoissoniana, il rumore termodinamico di fase nei sistemi a fibra ottica e suo effetto sulla sensibilità negli interferometri, l'effetto dell'amplificazione sulla statistica dei fotoni di segnale in amplificatori in fibra ottica drogata e basati su effetti non lineari.

1. **Misure Interferometriche: a retroriflessione con laser a semiconduttore e a bassa coerenza nell'infrarosso**

L'interferometria a retroriflessione rappresenta una interessante alternativa alle configurazioni interferometriche classiche. Essa è basata su una struttura a tre specchi, dei quali due limitano il mezzo attivo mentre il terzo è sul bersaglio. Il segnale ottico riflesso o diffuso dall'oggetto sotto misura viene riaccoppiato nel laser causando una modulazione di ampiezza e frequenza del campo elettrico oscillante. Mentre nell'interferometria classica sono necessari due segnali interferometrici in quadratura per ricostruire lo spostamento di un bersaglio senza ambiguità nel verso di movimento, *S.M.* ha dimostrato teoricamente e sperimentalmente nel 1995 che con l'interferometria a retroriflessione con diodo laser è sufficiente un singolo canale interferometrico, corrispondente alla modulazione di ampiezza della potenza ottica emessa ed ottenuto per rivelazione diretta. Questo segnale interferometrico assume infatti una forma sinusoidale distorta, simile ad un dente di sega, perdendo l'ambiguità del classico segnale coseno. Lavorando in regime di moderata retroiniezione, il segnale presenta isteresi a due livelli con commutazioni, ciascuna corrispondente ad uno spostamento di mezza lunghezza d'onda, avanti o indietro a seconda del verso di commutazione. In questo regime, lo spostamento viene ricostruito con risoluzione di mezza lunghezza d'onda senza ambiguità di segno con la tecnica del conteggio delle commutazioni. Sabina Merlo si è poi occupata dello studio e della realizzazione di un prototipo (brevetto) di interferometro a retroriflessione con laser a semiconduttore con emissione in prima finestra (790 - 850 nm) o nel visibile (670 nm) per misure di spostamento, che comprende la testa ottica di misura, molto compatta, ed una unità di elaborazione del segnale interfacciabile con calcolatore. Si sono poi valutate le prestazioni dello strumento nel caso di bersaglio diffondente, ovvero in regime di *speckle pattern*. È stata inoltre dimostrata la possibilità di ricostruire lo spostamento del bersaglio con migliore risoluzione (decine di nanometri) lavorando in regime di bassa retroiniezione senza isteresi ed effettuando una opportuna elaborazione del segnale interferometrico campionato. L'interferometria a retroriflessione con diodo laser può dunque essere applicata anche nel campo della vibrometria. Di particolare interesse è l'applicazione di questa tecnica interferometrica per la caratterizzazione di microstrutture in silicio, attuabili elettricamente o meccanicamente, come descritto in seguito. Correlato a questa tematica è il premio speciale del "Gruppo Specialistico Optoelettronica" dell'AEI che *S.M.* ha ricevuto per il miglior lavoro presentato al convegno nazionale Elettroottica '96.

Dal 2012 si occupa anche di interferometria a bassa coerenza ed ha implementato uno schema in fibra ottica per misure di riflettometria a bassa coerenza con sorgenti nel vicino infrarosso con risoluzione longitudinale migliore di 2 μm . Questo schema è stato utilizzato per la caratterizzazione di microstrutture in silicio (Vedi II.2) e di micro-capillari in vetro a sezione rettangolare e per la lettura ottica di questi dispositivi come sensori di concentrazione di soluzioni senza marcatori.

Pubblicazioni su riviste indicizzate WOS e/o SCOPUS relative a **Interferometria**

S. Donati, G. Giuliani, S. Merlo, **Laser diode feedback interferometer for measurement of displacements without ambiguity**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 31 No. 1, pp. 113-119 (1995). DOI: 10.1109/3.341714

S. Donati, L. Falzoni, S. Merlo, **A PC-interfaced, compact laser-diode feedback interferometer for displacement measurements**, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 45 No. 6, pp. 942-947 (1996). DOI: 10.1109/19.543990

S. Merlo, S. Donati, **Reconstruction of displacement waveforms with a single-channel laser-diode feedback interferometer**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 33 No. 4, pp. 527-531 (1997). DOI: 10.1109/3.563379

S. Donati, S. Merlo, **Applications of diode laser feedback interferometry**, Invited paper on *Journal of Optics*, Vol. 29 No. 3, Special issue on Optoelectronic distance/displacement measurements and applications, pp. 156-161 (IOP, UK 1998). DOI:10.1088/0150-536X/29/3/010

F. Carpignano, G. Rigamonti, S. Merlo, **Characterization of rectangular glass micro-capillaries by low-coherence reflectometry**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 27, No. 10, pp. 1064-1067 (2015). DOI: 10.1109/LPT.2015.2407271

F. Carpignano, G. Rigamonti, G. Mazzini, S. Merlo, **Low-coherence reflectometry for refractive index measurements of cells in micro-capillaries**, *Sensors*, vol. 16, Article No. 1670, pp. 1 – 12 (2016). DOI:10.3390/s16101670

G. Rigamonti, M. Guardamagna, S. Merlo, **Non-contact reflectometric readout of disposable microfluidic devices by near infra-red low-coherence interferometry**, *AIMS Biophysics*, vol. 3, No. 4, pp. 585-595 (2016). DOI: 10.3934/biophy.2016.4.585

Brevetto

S. Donati, G. Giuliani, S. Merlo, **Interferometro a retroiniezione con diodo laser per misure di spostamenti con risoluzione del micrometro e senza ambiguità di segno**, Brevetto per Invenzione Industriale No. IT1278602, Assegnato a: Università degli Studi di Pavia, Data di deposito: 18 ottobre 1994, Data del brevetto: 24 novembre 1997.

2. Microsistemi in silicio

Questo filone comprende tre argomenti di ricerca, MEMS - MOEMS - Cristalli fotonici, prevalentemente sperimentali. Per le competenze acquisite in questo settore, dal 2006 *SM* fa parte dell'*Editorial Board* della rivista IEEE/ASME Journal of MicroElectroMechanicalSystems. Le attività su MEMS e MOEMS sono svolte in collaborazione con STMMicroelectronics (STM) e *SM* è stata relatore di molte tesi di Laurea in Elettronica ed in Bioingegneria svolte su queste tematiche presso il Laboratorio di Elettroottica di Pavia ed i Laboratori STM di Cornaredo ed Agrate Brianza.

2.1 MEMS – Micro-Electro-Mechanical-System

Questa attività comprende lo studio e la caratterizzazione di dispositivi MEMS, quali giroscopi, accelerometri e risuonatori. Il lavoro è stato parzialmente svolto nell'ambito del progetto finalizzato MADESS II del CNR (giroscopio) e del progetto MIUR-FIRB MITE-TIV (accelerometro bi-assiale).

Nei dispositivi MEMS, le ben note tecniche di produzione dei circuiti integrati vengono impiegate per produrre sensori a basso costo (su grandi volumi), con la possibilità di integrare nello stesso componente sia il dispositivo sensibile che l'elettronica di misura. Con queste tecniche, STM, che ormai occupa una posizione leader in campo internazionale nel settore dei MEMS, realizza sensori inerziali quali accelerometri e giroscopi.

SM è stata di supporto a STM nella caratterizzazione di prototipi di dispositivi MEMS di varie generazioni. In fase di ottimizzazione del progetto della microstruttura, è infatti necessario conoscere l'andamento della risposta in frequenza del sistema meccanico, in funzione delle tensioni applicate e di parametri esterni, in particolare della pressione. Queste misure possono essere effettuate impiegando schemi elettrici standard per la lettura di sensori capacitivi. Sebbene questi schemi rappresentino una valida soluzione per effettuare la lettura del dispositivo con circuiteria elettronica posta sullo stesso chip o accanto al dispositivo micromeccanico, essi non sembrano altrettanto efficienti per la caratterizzazione di una microstruttura in fase prototipale. In questo caso, infatti, le capacità parassite possono diventare dominanti rispetto alle capacità dei pettini e rendere molto difficile la rivelazione della risposta del sensore.

SM ha dimostrato sperimentalmente la possibilità di effettuare la misura diretta dello spostamento della massa mobile, utilizzando l'interferometria a retroriflessione con laser a semiconduttore, superando così le limitazioni degli schemi interferometrici classici, non adatti per la caratterizzazione di questi bersagli diffondenti che si muovono nel piano orizzontale.

L'interferometria a retroriflessione è basata sulla modulazione di ampiezza e frequenza del campo ottico, che viene indotta allorché una piccola frazione della potenza emessa dalla sorgente viene diffusa o riflessa dal bersaglio e riaccoppiata nella cavità del laser. Lo spostamento può essere ottenuto nel dominio del tempo, eccitando il dispositivo con segnali sinusoidali e contando le frange del segnale interferometrico, fotogenerato dal fotodiodo di monitor. La risposta in frequenza del sistema meccanico viene ricavata misurando l'ampiezza di vibrazione per diverse frequenze di attuazione. *SM* ha dimostrato che applicando rumore bianco come segnale di attuazione, è possibile visualizzare la curva di risonanza in tempo reale, effettuando una misura nel dominio delle frequenze del segnale interferometrico. Paragonato al conteggio delle frange, il metodo del rumore bianco è più semplice e veloce ed è particolarmente adatto per rivelare la frequenza di risonanza e il fattore di merito nel caso di piccoli spostamenti, come spesso accade con dispositivi MEMS.

SM si è inoltre occupata del progetto e della realizzazione di un modulo interferometrico miniaturizzato che può esser ospitato all'interno di una camera pneumatica di ridotte dimensioni, alloggiata

su una piattaforma rotante. Grazie a questo modulo, è possibile effettuare le misure di caratterizzazione degli assi del giroscopio o dell'accelerometro a varie pressioni. In particolare, grazie a questo modulo, *SM* ha dimostrato che è possibile sfruttare l'accoppiamento meccanico spurio fra gli assi e l'attuazione a rumore bianco dell'asse di pilotaggio, per effettuare l'accordo delle frequenze di risonanza degli assi del giroscopio (elettricamente), visualizzandole entrambe in tempo reale. Inoltre, si è effettuata la rivelazione ottica della forza di Coriolis che agisce sulla massa del giroscopio, ponendo in rotazione la campana pneumatica mantenuta a pressioni di 50-100 mtorr. Sabina Merlo si è anche occupata della valutazione dei limiti di sensibilità dei giroscopi, con particolare riferimento al rumore termomeccanico che restringe l'uso di questa tecnologia per applicazioni di navigazione e assetto in campo automobilistico.

La collaborazione di *SM* con STM su tematiche relative ai MEMS include anche attività sul sistema "lab-on-chip" per il monitoraggio in tempo reale della "polymerase chain reaction" e sui chip per manipolazione e selezione di cellule o di aggregati cellulari tramite dielettroforesi.

2.2 MOEMS – Micro-Opto-Electro-Mechanical-System

Questa attività è iniziata nell'ambito di un PRIN finanziato nel 2002, nel quale *SM* ha operato in qualità di Responsabile Locale dell'Unità di Pavia, in collaborazione con STM, Università di Pisa, Università di Padova. L'attività prevedeva il progetto ottico e la caratterizzazione di microspecchi e la costruzione di un dimostratore, su banco ottico, di un sistema di commutazione a microspecchi di ridotte dimensioni.

Come è noto dall'ottica classica, il cammino di un fascio ottico monocromatico può essere deviato non solo con superfici piane riflettenti ma anche con elementi ottici dispersivi quali i reticoli di diffrazione operanti in riflessione. La tecnologia della microlavorazione del silicio ben si presta per la realizzazione di reticoli di precisione per radiazione nell'infrarosso, con accuratezza che scende sotto il micrometro. In particolare, una soluzione interessante è rappresentata dal reticolo riflettente ad inclinazione variabile o specchio "a veneziana", ovvero un reticolo in cui i tratti riflettenti sono inclinati di un angolo rispetto al piano del reticolo e l'angolo può essere variato. Questa configurazione risulta molto interessante da realizzare con la tecnologia della microlavorazione del silicio, che permette inoltre di deflettere elettricamente gli elementi dello specchio e orientare quindi rapidamente il fascio. Microspecchi "a veneziana" sono stati progettati in collaborazione con il Dipartimento di Meccanica Strutturale di Pavia e con l'Università di Pisa, e fabbricati con la tecnologia planare THELMA di STM.

SM ha allestito i banchi ottici di misura, effettuando la caratterizzazione del funzionamento statico e dinamico di microspecchi a singolo grado di libertà rotazionale, monolitici ed "a veneziana". Per la caratterizzazione statica, che consiste nel ricavare sperimentalmente il legame fra l'angolo di rotazione e la tensione continua applicata, si sono utilizzati schemi classici basati sulla misura dell'angolo di deviazione di un fascio laser riflesso o diffratto dalle microstrutture in esame. Per quanto riguarda il funzionamento dinamico, è richiesto di identificare i modi di vibrazione (fuori piano, modi rotazionale ed ortogonale, e nel piano, modo traslazionale) valutandone le frequenze di risonanza ed il fattore di merito, a pressione ambiente, al variare della tensione di pilotaggio utilizzata, ovvero della posizione statica dello specchio. Prestazioni migliori degli schemi classici sono state ottenute in questo caso con lo schema di misura basato sull'interferometria a retroriflessione con laser a semiconduttore. Si tratta di un sistema di misura puntuale relativamente semplice, che permette di rivelare in tempo reale fenomeni a frequenze anche di centinaia di kHz, che in alternativa richiederebbero sistemi di acquisizione ed elaborazione di immagini molto più costosi, a causa delle frequenze in gioco.

SM è stata responsabile del Contratto di Ricerca fra STM ed il DIII (01/02/2012-31/01/2014) avente per oggetto la "Caratterizzazione opto-elettro-meccanica di componenti MEMS" relativo alle nuove generazioni di microspecchi e di MEMS in fase di sviluppo presso l'azienda e del Contratto di Ricerca fra STM ed il DIII (01/02/2016-31/01/2017) avente per oggetto "Ideazione e realizzazione set-up di misure elettro-ottiche per dispositivi MOEMS con relativa caratterizzazione" relativo a microlenti a focale variabile con attuazione piezoelettrica.

Capitoli di libri relativi a MEMS

V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, G. Spinola, B. Vigna, S. Zerbini, **Electro-optic and micromachined gyroscopes**, Ch. 18, pp. 403 - 422 in "An introduction to optoelectronic sensors", G. C. Righini et al. Eds., World Scientific, Singapore. ISBN: 978-981-283-412-6, 2009.

Pubblicazioni su riviste indicizzate WOS e/o SCOPUS relative a **MEMS-MOEMS**

- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, **Mechanical thermal noise in micromachined gyros**, *Microelectronics Journal*, Vol. 30, No. 12, pp. 1227-1230 (Elsevier, UK 1999). DOI: 10.1016/S0026-2692(99)00046-4 (Missing figure in *Microelectronics Journal*, Vol. 32, p. 285, 2001).
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, **Measurement on a micromachined silicon gyroscope by feedback interferometry**, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-6 (2001). DOI: 10.1109/3516.914385
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, **Comparison of capacitive and feedback-interferometric measurements on MEMS**, *IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical systems*, Vol. 10, No. 3, pp. 327-335 (2001). DOI: 10.1109/84.946778
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, **Characterization of silicon microstructures by feedback interferometry**, *Journal of Optics A: Pure Appl. Opt.*, Vol. 4, pp. S311-S317 (IOP, UK 2002). DOI:10.1088/1464-4258/4/6/374
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, G. Spinola, B. Vigna, S. Zerbini, **Optical Detection of the Coriolis Force on a Silicon Micromachined Gyroscope**, in: *IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical systems*, Vol. 12, No. 5, pp. 540-549 (2003). DOI: 10.1109/JMEMS.2003.817893 (riportato anche in: *ST Journal of Research*, Vol. 3, No. 1, MEMS pp. 63-73 (2006))
- V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, M. Norgia, **Optical detection of multiple modes on resonant micromachined structures**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 16, No. 7, pp. 1703-1705 (2004). DOI: 10.1109/LPT.2004.828841
- V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, M. Norgia, **Spot Optical Measurements on Micromachined Mirrors for Photonic Switching**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (Special Issue on Optical Microsystems, 2004) Vol. 10, No. 3, pp. 536-544 (2004). DOI: 10.1109/JSTQE.2004.830625
- S. Merlo, V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, F. Carli, M. Norgia, **Testing of “Venetian-Blind” Silicon Microstructures with Optical Methods**, *IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical systems*, Vol. 15, No. 3, pp.588-596 (2006). DOI: 10.1109/JMEMS.2006.876664
- S. Burgarella, S. Merlo, B. Dell’Anna, G. Zarola, M. Bianchessi, **A modular microfluidic platform for cells handling by dielectrophoresis**, *Microelectronic Engineering*, Vol. 87, No. 11, pp. 2124-2133 (Elsevier, 2010). DOI: 10.1016/j.mee.2010.01.013
- S. Burgarella, M. Bianchessi, S. Merlo, **A modular platform for cell characterization, handling and sorting by dielectrophoresis**, *Cytometry Part A*, Vol. 77A, p. 189 (Wiley, 2010). DOI: 10.1002/cyto.a.20826
- S. Burgarella, S. Merlo, M. Figliuzzi, A. Remuzzi, **Isolation of Langerhans islets by dielectrophoresis**, *Electrophoresis* (Special issue on Dielectrophoresis), Vol. 34, No. 4, pp. 1068-1075 (Wiley, 2013). DOI 10.1002/elps.201200294
- S. Burgarella, S. Merlo, M. Figliuzzi, A. Remuzzi, **Evaluation of dielectrophoresis for isolation of pancreatic islets from exocrine tissue**, *Cytometry Part A*, Vol. 83A, No. 12, p. 40-41 (Wiley 2013). DOI: 10.1002/cyto.a.22412
- G. Silva, F. Carpignano, F. Guerinoni, S. Costantini, M. De Fazio, S. Merlo, **Optical detection of the electro-mechanical response of MEMS micromirrors designed for scanning picoprojectors**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (Special Issue on Optical Micro- and Nano-systems, 2015) Vol. 21, No. 4, pp. 2800110_1 – 2800110_10 (2015). DOI: 10.1109/JSTQE.2014.2369499
- F. Carpignano, S. Surdo, G. Barillaro, S. Merlo, **Silicon micromachined device testing by infrared low-coherence reflectometry**, *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 24, No. 6, pp. 1960 – 1964 (2015). DOI: 10.1109/JMEMS.2015.2453367
- F. Carpignano, G. Rigamonti, D. Riccardi, M. De Fazio, S. Merlo, **A silicon microsystem for generation of infrared patterned light**, *IEEE Journal of Display Technology*, Vol. 12 (2016). DOI:10.1109/JDT.2016.2543962
- S. Merlo, P. Poma, E. Crisà, D. Faralli, M. Soldo, **Testing of Piezo-Actuated Glass Micro-Membranes by Optical Low-Coherence Reflectometry**, *Sensors*, vol. 17, No. 3 Article No. 462, pp. 1 – 8 (2017). DOI:10.3390/s17030462
- S. Merlo, E. Crisà, D. Giusti, M. Ferrera, M. Soldo, **Characterization of tunable micro-lenses with a versatile optical measuring system**, *Sensors*, Vol. 18, No. 12, (2018)

2.3 Microstrutture verticali e cristalli fotonici

Dal 2005, *SM* si occupa dello studio e della caratterizzazione ottica sperimentale di cristalli fotonici monodimensionali, dedicandosi in particolare all’analisi di campioni fabbricati dall’Università di Pisa per

attacco foto-elettro-chimico del silicio. Si tratta di strutture verticali periodiche, con elevato rapporto di aspetto (fino a 100:1), costituite da schiere di piani di silicio, di spessore dell'ordine del micrometro e periodo di alcuni micrometri, alternate ad intercapedini d'aria, nelle quali è possibile inserire altri materiali. Su campioni con parametri geometrici diversi, sono state effettuate misure di riflettività spettrale nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese tra 1000 nm e 1700 nm. *S.M.* ha evidenziato sperimentalmente la presenza di bande fotoniche proibite, nel vicino infrarosso, in dispositivi a quarto d'onda ibridi, con basse perdite in riflessione intorno a 1.55 μm , che risultano così di interesse nel campo delle comunicazioni ottiche.

Dato che gli spettri di riflettività di queste microstrutture dipendono dall'indice di rifrazione del mezzo inserito nell'intercapedine nonché dalla porosità effettiva, si prestano per essere impiegate come matrici di supporto per la realizzazione di biosensori ottici, contribuendo così allo sviluppo di nanotecnologie finalizzate ad applicazioni in campo medico. La Fondazione CARIPO ha finanziato nel 2008 il progetto di ricerca triennale dell'Università di Pavia dal titolo "Sviluppo di un biosensore ottico per la rivelazione dell'interazione fra fibrille amiloidi e ligandi su matrice di silicio microstrutturato". Nell'Unità di Pavia, *S.M.* si è occupata del coordinamento delle attività ingegneristiche e dello svolgimento delle misure ottiche per la caratterizzazione delle strutture in silicio e dell'interazione fra silicio e fibrille.

S.M. ha operato come responsabile locale dell'Unità di Pavia nel PRIN finanziato nel 2007 dal titolo "Microsistemi optofluidici a cristalli fotonici per biosensori", nell'ambito del quale è stato realizzato un prototipo di microsistema optofluidico con microspecchio a cristallo fotonico adatto per misure di indice di rifrazione di fluidi e un prototipo di biochip optofluidico con microspecchio a cristallo fotonico per la rivelazione della proteina C reattiva. *S.M.* si è occupata della caratterizzazione ottica della risposta dei sensori a cristalli fotonici in silicio microlavorato al fine di ottenere l'andamento della riflettività spettrale dei dispositivi nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese tra 1.0 μm e 1.7 μm , al variare dell'indice di rifrazione del fluido inserito nel sistema, e per valutare la responsività del biosensore molecolare, utilizzando un setup di misura in fibra ottica standard.

S.M. ha coordinato il progetto biennale finanziato nel 2010 dalla Fondazione Alma Mater Ticinensis dal titolo "Verso lo sviluppo di un biosensore ottico basato su cellule: studio di cristalli fotonici in silicio microlavorato come dispositivi micro-ottici per il monitoraggio di attività cellulari". I risultati delle ricerche svolte nell'ambito di questo progetto, frutto della collaborazione fra tre unità (UNIPV, UNIPI, IGM-CNR) dimostrano che i cristalli fotonici in silicio ad elevato rapporto d'aspetto possono svolgere le funzioni di microincubatori per studiare la crescita di cellule in ambienti tridimensionali e, allo stesso tempo, di trasduttori ottici per monitorare attività cellulari che implicano modificazioni morfologiche della cellula. È stato anche dimostrato che si tratta di microincubatori tridimensionali selettivi: infatti solo linee cellulari con comportamento mesenchimale riescono a crescere negli spazi tra i muri di silicio mentre linee cellulari con fenotipo epiteliale formano aggregati che tendono a restare sulla sommità dei muri di silicio. Presso il laboratorio di Elettroottica dell'Università di Pavia, è stato possibile rilevare la distribuzione delle cellule cresciute nel microincubatore senza l'utilizzo di altri marcatori esogeni (quali coloranti fluorescenti), elaborando il segnale riflesso dal cristallo fotonico nel vicino infrarosso. *S.M.* ha coordinato il progetto biennale finanziato nel 2012 dalla Fondazione CARIPO dal titolo "Microstrutture tridimensionali in silicio per la rivelazione diretta di cellule tumorali circolanti mediante tomografia ottica", svolto in collaborazione con le stesse Unità del progetto precedente.

Publicazioni su riviste indicizzate WOS e SCOPUS relative a **Microstrutture verticali e cristalli fotonici**

G. Barillaro, A. Diligenti, M. Benedetti, S. Merlo, **Silicon micromachined periodic structures for optical applications at $\lambda=1.55\mu\text{m}$** , *Applied Physics Letters*, Vol. 89, 151110, (AIP, 2006). DOI: 10.1063/1.2358323

G. Barillaro, V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, **Reflection properties of hybrid quarter-wavelength silicon microstructures**, *Applied Physics Letters*, Vol. 90, 121110 (AIP, 2007). DOI: 10.1063/1.2714293

G. Barillaro, S. Merlo, L.M. Strambini, **Band gap tuning of silicon micromachined 1D photonic crystals by thermal oxidation**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (Special Issue on Semiconductor Photonic Materials, 2008) Vol. 14, No. 4, pp. 1074 – 1081 (2008). DOI: 10.1109/JSTQE.2008.916183

G. Barillaro, L. Strambini, V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, **Optical characterization of high-order 1D silicon photonic crystals**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (Special Issue on Nanophotonics and Optical MEMS, 2009) Vol. 15, No. 5, pp. 1359 – 1367 (2009).

DOI: 10.1109/JSTQE.2009.2017278

G. Barillaro, S. Merlo, L.M. Strambini, **Optical characterization of alcohol-infiltrated 1D silicon photonic crystals**, *Optics Letters*, Vol. 34, No. 12, pp. 1912-1914 (OSA, USA 2009). DOI: 10.1364/OL.34.001912

G. Barillaro, S. Merlo, S. Surdo, L.M. Strambini, F. Carpignano, **Optical quality-assessment of high-order one-dimensional silicon photonic crystals with a reflectivity notch at $\lambda \sim 1.55 \mu\text{m}$** , *IEEE Photonics Journal*, Vol. 2, No. 6, pp. 981-990 (2010). DOI: 10.1109/JPHOT.2010.2089440

S. Merlo, G. Barillaro, F. Carpignano, V. Leva, A. Montecucco, S. Surdo, L. M. Strambini, G. Mazzini, **Investigation of cell culturing on high aspect-ratio, three-dimensional silicon microstructures**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* (Special Issue on Biophotonics I, 2012) Vol. 18, No. 3, pp. 1215-1222 (2012). DOI: 10.1109/JSTQE.2011.2170662

G. Barillaro, S. Merlo, S. Surdo, L. M. Strambini, F. Carpignano, **Integrated Optofluidic Microsystem based on Vertical High-Order One-Dimensional Silicon Photonic Crystals**, *Microfluidics and Nanofluidics* Vol. 12, pp. 545–552 (Springer, 2012). DOI: 10.1007/s10404-011-0896-0

S. Merlo, G. Barillaro, F. Carpignano, G. Silva, S. Surdo, L. M. Strambini, S. Giorgetti, D. Nichino, A. Relini, G. Mazzini, M. Stoppini, V. Bellotti, **Fibrillogenesis of human $\beta 2$ -microglobulin in three-dimensional silicon microstructures**, *Journal of Biophotonics*, Vol. 5, No. 10, pp. 785-792 (Wiley, 2012). DOI: 10.1002/jbio.201100132

S. Surdo, S. Merlo, F. Carpignano, L. M. Strambini, C. Trono, A. Giannetti, F. Baldini, G. Barillaro, **Optofluidic microsystems with integrated vertical one-dimensional photonic crystals for chemical analysis**, *Lab on a Chip*, Vol. 12, pp. 4403–4415 (RSC, 2012). DOI: 10.1039/C2LC40613F

F. Carpignano, G. Silva, S. Surdo, V. Leva, A. Montecucco, F. Aredia, A. I. Scovassi, S. Merlo, G. Barillaro, G. Mazzini, **A new cell-selective three-dimensional microincubator based on silicon photonic crystals**, *PLoS ONE*, Vol. 7, No. 11, e48556, (PLOS, 2012). DOI: 10.1371/journal.pone.0048556

S. Merlo, F. Carpignano, G. Silva, F. Aredia, A. I. Scovassi, G. Mazzini, S. Surdo, G. Barillaro, **Label-free optical detection of cells grown in 3D silicon microstructures**, *Lab on a Chip*, Vol. 13, No. 16, pp. 3284–3292, (RSC, 2013). DOI: 10.1039/C3LC50317H

S. Surdo, S. Merlo, F. Carpignano, G. Silva, G. Barillaro, **An all-silicon optical platform based on linear array of vertical high-aspect-ratio silicon/air photonic crystals**, *Applied Physics Letters*, Vol. 103, 171103, (AIP, 2013). DOI: 10.1063/1.4826146

S. Surdo, F. Carpignano, L. Strambini, S. Merlo, G. Barillaro, **Capillarity-driven (self-powered) one-dimensional photonic crystals for refractometry and (bio)sensing applications**, *RSC Advances*, Vol. 4, pp. 51935–51941 (RSC, 2014) DOI: 10.1039/C4RA09056J

G. Mazzini, F. Carpignano, S. Surdo, F. Aredia, N. Panini, M. Torchio, E. Erba, M. Danova, A.I. Scovassi, G. Barillaro, S. Merlo, **3D silicon microstructures: a new tool for for evaluating biological aggressiveness of tumor cells**, *IEEE Transactions on NanoBioscience*, Vol. 14, No. 7, pp. 797-805, Piscataway, NJ, USA (2015). DOI: 10.1109/TNB.2015.2476351

F. Aredia, F. Carpignano, S. Surdo, G. Barillaro, G. Mazzini, A.I. Scovassi, S. Merlo, **An innovative cell micro-incubator for drug-discovery based on 3D silicon structures**, *Journal of Nanomaterials*, vol. 2016, Article ID 8236539, pp.1-10, (2016). DOI: 10.1155/2016/8236539

S. Surdo, F. Carpignano, S. Merlo, G. Barillaro, **Near-Infrared Silicon Photonic Crystals with High-Order Photonic Bandgaps for High-Sensitivity Chemical Analysis of Water-Ethanol Mixtures**, *ACS Sensors*, Vol. 3, No. 11, pp. 2223–2231, November 2018, Publication Date (Web): October 31, 2018 (Letter), DOI: 10.1021/acssensors.8b00933

Brevetto

G. Barillaro, S. Merlo, L.M. Strambini, S. Surdo, **Microsistema optofluidico a cristalli fotonici e procedimento di realizzazione dello stesso**, Brevetto N. 0001406022, Data di deposito: 7 giugno 2011, Data del brevetto: 6 febbraio 2014.

3. Crittografia ottica e fenomeni caotici in oscillatori laser

Sabina Merlo si è occupata di vari effetti indotti sulle caratteristiche di emissione di sorgenti laser quando parte della radiazione emessa è riaccoppiata nella cavità ottica per riflessione o diffusione da parte di un bersaglio. In particolare, è stato valutato l'impatto che la retroriflessione ha sull'andamento della potenza ottica emessa in funzione della corrente di pompaggio, dimostrando che le curve di emissione hanno un punto in comune, anche al variare della retroriflessione, corrispondente ad una corrente di pompaggio che diventa un importante parametro da valutare per l'ottimizzazione dell'efficienza del laser. E' stata inoltre

studiata la dipendenza di questo parametro dalle caratteristiche del laser e della cavità esterna formata dal retro riflettore.

Nelle sorgenti a semiconduttore si osserva, in determinate condizioni di iniezione, la transizione al caos dell'oscillatore laser, con distruzione delle sue proprietà di coerenza. I regimi attraversati dal sistema che evolve verso il collasso di coerenza sono stati studiati in dettaglio sia analiticamente, sia per via sperimentale. Lo studio del caos ha interessanti applicazioni nel settore della crittografia. In particolare, nel caso di un laser soggetto a retroriflessione da specchio esterno, sono stati proposti metodi di sincronizzazione che permettono di implementare la trasmissione sicura di dati digitali, ad esempio mediante schemi di mascheratura caotica (*Chaos masking* - CM), oppure utilizzando la tecnica del *Chaotic Shift Keying* (CSK). In quest'ultimo schema, i simboli '0' e '1' sono codificati su due orbite adiacenti dello stesso attrattore caotico, rendendo così possibile la decodifica del messaggio solo da parte di un utente autorizzato che possieda una copia fisica del sistema caotico presente al trasmettitore. Questa attività di ricerca si colloca in un contesto internazionale di grande attenzione alla crittografia ottica al livello fisico (con chiave *hardware*) soprattutto per applicazioni bancarie e industriali, ma anche di consumo (pay-TV). Su questa tematica, la Comunità Europea, nell'ambito del V Programma Quadro, ha finanziato il Progetto FET OCCULT (2001-2004), cui hanno partecipato gruppi di ricerca di sei Università (tra cui Pavia), aziende e centri di ricerca europei. Il progetto ha permesso di ottenere risultati scientifici di grande rilevanza, come riconosciuto dai revisori scientifici del progetto, dai quali è stato valutato come "Flagship Project" del V Programma Quadro. Oltre agli schemi già citati CM e CSK, ne sono stati valutati altri, quali la modulazione diretta della portante caotica (*Additive chaos masking* - ACM) e la modulazione di fase (*Phase modulation* - PM) proposta e sperimentata per la prima volta nell'ambito di questo progetto. Questo schema offre caratteristiche di sicurezza particolarmente elevate, perché la modulazione di fase non modifica sensibilmente lo spettro RF del caos generato, rendendo molto difficile l'estrazione del messaggio da parte di un utente non autorizzato. L'attività del progetto europeo ha portato alla realizzazione di un setup sperimentale tutto fibra, facilmente riconfigurabile per lo studio di diversi schemi di trasmissione.

Questa ricerca è proseguita nel PRIN 2005 dal titolo "Sistema di trasmissione per crittografia ottica caotica", che ha previsto la collaborazione fra le Università di Pavia, Padova e L'Aquila. L'obiettivo generale di questo progetto è stato lo studio teorico/numerico e sperimentale della propagazione in fibra ottica di segnali codificati con metodi crittografici impieganti caos ottico, e la loro trasmissione su lunga distanza. Si è giunti effettivamente alla costruzione di un dimostratore che realizza sperimentalmente uno schema crittografico, comprendente un trasmettitore per la codifica del segnale, costituito da un laser standard DFB per telecomunicazioni reso caotico per retroriflessione; una tratta di fibra di diverse decine di km per la propagazione del segnale, che include diversi dispositivi presenti in una rete di comunicazione, quali amplificatori, compensatori di dispersione, giunti, connettori, attenuatori e divisori di potenza; un ricevitore costituito di un altro laser gemello del precedente. Si è dimostrata la trasmissione, su distanze fino a 100 km, di segnali analogici su portante fino a 3 GHz, e di segnali digitali fino a 1,25 Gb/s, crittografati con caos ottico, ottenendo un differenziale di BER di 10^{-4} fra i segnali coperti col caos ed estratti dal caos, anche utilizzando opportune tecniche di compensazione dell'attenuazione e della dispersione.

La possibilità di realizzare effettivamente reti ottiche sicure basate sulla crittografia caotica dipende molto dalla disponibilità di sorgenti ottiche caotiche sufficientemente compatte ed affidabili, quindi integrate in forma ibrida o monolitica. Per questa ragione, l'Unione Europea, nell'ambito del VI programma quadro, ha finanziato nel 2006 il progetto STREP denominato "PICASSO" (Photonic Integrated Components Applied to Secure chaos encoded Optical communications systems), che ha avuto tra i partecipanti anche l'Università di Pavia (Proff. Annovazzi-Lodi e Merlo). In questo progetto, sono stati realizzati trasmettitori e ricevitori laser caotici basati su strutture integrate monolitiche e su strutture ibride con componenti passivi in fibra ottica. A Pavia, in particolare, i moduli integrati sono stati caratterizzati e utilizzati per la trasmissione in fibra di segnali crittografati. *S.M.* ha anche svolto studi teorici di nuove configurazioni di crittografia ottica caotica, più specifiche per la trasmissione sicura, su brevi distanze, di segnali ottici in spazio libero.

Publicazioni su riviste indicizzate WOS e/o SCOPUS relative a **Crittografia ottica**

V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, S. Moroni, **Power efficiency of a semiconductor laser with an external cavity**, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 32, No. 12, pp. 1343-1350 (Kluwer, 2000). DOI: 10.1023/A:1026565619195

V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, M. Norgia, A. Scirè, **Characterization of a chaotic telecommunication laser for different fiber cavity lengths**, Invited paper, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 38 No. 9, pp.1171-1177 (2002). DOI: 10.1109/JQE.2002.801948

- V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, M. Norgia, **Fiber optics setup for chaotic cryptography communication**, *Comptes Rendus Physique (Numero speciale Cryptography using optical chaos)*, Vol. 5, No. 6, pp. 623-631 (Elsevier, 2004). DOI: 10.1016/j.crhy.2004.03.005
- V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, M. Norgia, B. Provinzano, **Optical chaos masking of video signals**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 17 No. 9, pp. 1995-1997 (2005). DOI: 10.1109/LPT.2005.853267
- V. Annovazzi-Lodi, M. Benedetti, S. Merlo, T. Perez, P. Colet, C.R. Mirasso, **Message encryption by phase modulation of a chaotic optical carrier**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 19, No. 2, pp. 76-78 (2007). DOI: 10.1109/LPT.2006.888968
- V. Annovazzi-Lodi, G. Aromataris, M. Benedetti, I. Cristiani, S. Merlo, P. Minzioni, **All-optical wavelength conversion of a chaos masked signal**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 19, No. 22, pp. 1783-1785 (2007). DOI: 10.1109/LPT.2007.906847
- V. Annovazzi-Lodi, C. Antonelli, G. Aromataris, M. Benedetti, M. Guglielmucci, A. Mecozzi, S. Merlo, M. Santagiustina, L. Ursini, **Chaos Encrypted Optical Communication System**, *Fiber and Integrated optics*, Vol. 27, No. 4, pp. 308 – 316 (T & F, UK, 2008). DOI: 10.1080/01468030802192625
- V. Annovazzi-Lodi, A. Argyris, M. Benedetti, M. Hamacher, S. Merlo, D. Syvridis, **A Chaos-Based Approach to Secure Communications**, *Optics and Photonics News*, Vol. 19 No. 10, pp. 48 – 53 (OSA, USA, 2008). DOI: 10.1364/OPN.19.10.000036
- V. Annovazzi-Lodi, G. Aromataris, M. Benedetti, S. Merlo, **Secure Chaotic Transmission on a Free-Space Optics Data Link**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 44, No. 11, pp. 1089-1095, November 2008, Piscataway, NJ, USA (2008). DOI: 10.1109/JQE.2008.2001929
- V. Annovazzi-Lodi, G. Aromataris, M. Benedetti, S. Merlo, **Private message transmission by common driving of two chaotic lasers**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 46, No. 2, pp. 258 – 264 (2010). DOI: 10.1109/JQE.2009.2030895
- V. Annovazzi-Lodi, G. Aromataris, M. Benedetti, M. Hamacher, S. Merlo, V. Vercesi, **Close-loop three-laser scheme for chaos-encrypted message transmission**, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 42, pp. 143-156 (Springer, 2010). DOI: 10.1007/s11082-010-9435-6

4. Sensori e componentistica di misura in fibra ottica

L'attività svolta comprende sensori a fibra ottica per misure di grandezze chimiche e fisiche in campo biomedico, sensori a fibra ottica per misure di campo magnetico e sensori a fibra ottica per il monitoraggio di strutture civili. I sensori a fibra ottica trovano crescente impiego in vari sistemi di misura e grazie alle loro caratteristiche di struttura elettricamente passiva e piccole dimensioni, offrono particolari vantaggi in ambienti critici. Questo filone di ricerca comprende inoltre lo sviluppo di componenti passivi in fibra ottica (componenti a controllo di birifrangenza ed attenuatori) ed amplificatori ottici in fibra drogata. È stato anche affrontato lo studio dell'affidabilità di fibre ottiche curve, argomento di interesse sia per i dispositivi in fibra ottica che per l'installazione di reti ottiche.

4.1 Sensori per misure di grandezze chimiche e fisiche in campo biomedico

L'attività in questo settore è iniziata nel 1986 con la tesi di Laurea. Successivamente, presso la University of Washington *SM* ha studiato e realizzato un sensore a fibre ottiche per il monitoraggio dell'anestesia generale. Questo sensore è stato utilizzato per misure "in vitro" ma è potenzialmente adatto per misure di concentrazione "in vivo", nel sangue e nei tessuti, al fine di migliorare e rendere più sicura la pratica dell'anestesia generale. La trasduzione del segnale chimico in segnale ottico è basata sulla perturbazione della transizione di fase di vescicole fosfolipidiche da parte delle molecole di anestetico e sulla possibilità di caratterizzare la transizione di fase con tecniche fluorimetriche: questo lavoro costituisce il primo esempio di biosensore ottico basato sulla transizione di fase di un materiale per la misura di grandezze non termiche. Per realizzare il sensore di anestetico i fosfolipidi marcati con colorante fluorescente vengono immobilizzati all'estremità di due fibre ottiche multimodali e la concentrazione viene determinata dal rapporto dell'intensità emessa a due lunghezze d'onda. Il sistema descritto ha ottenuto nel 1992 il brevetto americano e rappresenta uno dei primi esempi di biosensori ottici basati sulla nanotecnologia delle vescicole lipidiche di notevole interesse per la nanomedicina. Recentemente, *SM* ha utilizzato la misura dello spettro di radiazione riflessa e trasmessa nella regione del vicino infrarosso per implementare un metodo di lettura di sensori di concentrazione di soluzioni di interesse biologico basati su microcapillari in vetro (già citati nel contesto di misure interferometriche) impiegati come dispositivi micro-opto-fluidici. La lettura avviene in maniera remota (senza contatto) e minimamente invasiva tramite una configurazione in fibra ottica standard per telecomunicazioni. Attualmente è responsabile di un contratto di ricerca con l'azienda RAW srl per la realizzazione e la caratterizzazione di un sensore in fibra ottica per la

rivelazione della flessione di aghi-sonda per il trattamento dei tumori solidi nell'ambito del progetto "Endo-sight".

4.2 Sensori per il monitoraggio di infrastrutture

Nell'ambito di un progetto relativo all'utilizzo di sensori a fibra ottica per grandi infrastrutture, è stata dimostrata la fattibilità di un sistema di monitoraggio, di costi contenuti, per il controllo dello stato di salute di infrastrutture civili con un sistema di allarme in tempo reale relativo ad eventuali cedimenti della struttura. È stato studiato un sensore a fibra ottica che permette di rilevare le variazioni di curvatura di grandi strutture, ad esempio ponti, ed è stato sperimentato in laboratorio un prototipo del sistema di misura, applicato per misure statiche e dinamiche.

4.3 Sensori di campo magnetico e componenti passivi a controllo di birifrangenza

È stato studiato e realizzato un sensore in fibra ottica monomodale per la misura vettoriale del campo magnetico, che grazie alla sua struttura molto compatta può essere utilizzato nel traferro di motori elettrici od elettromagneti, e per misure di flusso disperso nei trasformatori. Il principio di funzionamento del sensore è basato sulla sovrapposizione dell'effetto Faraday magneto-ottico e della birifrangenza distribuita indotta nella fibra per tensionamento e per curvatura in un avvolgimento di raggio opportuno. Inducendo nella fibra una birifrangenza tale che ogni spira sia un ritardatore a onda intera è possibile cumulare l'effetto Faraday anche su di un cammino chiuso dove in condizioni normali (fibra senza birifrangenza) si cancellerebbe. Si sono potuti realizzare sensori di campo magnetico che consistono di avvolgimenti a forma di solenoide cilindrico di oltre 150 spire, con raggio di curvatura di circa 5 mm, e che rivelano fino alla frazione di Gauss, come richiesto per le applicazioni in macchinari elettrici. Il minimo segnale rivelabile con questo schema tutto-fibra è paragonabile a quello ottenibile con dispositivi in ottica discreta basati su cristalli (es. YIG) con elevata costante magneto-ottica di Verdet. Il dispositivo realizzato rappresenta un sensore vettoriale perché permette di misurare (con un singolo avvolgimento) contemporaneamente ed indipendentemente le componenti del campo magnetico nel piano delle spire, attraverso la rivelazione in fase ed in quadratura della radiazione in uscita dall'avvolgimento.

Il principio di sovrapposizione dell'effetto Faraday e della birifrangenza discusso per i sensori può essere utilizzato per realizzare componenti in fibra ottica, quali i rotatori di polarizzazione e gli isolatori ottici. Lo studio accurato della birifrangenza che si manifesta per effetto Faraday in un anello di fibra ottica, sottoposta alla contemporanea azione dello sforzo meccanico di flessione e di un campo magnetico, ha permesso di determinare particolari valori del raggio di curvatura per i quali l'effetto globale è di pura rotazione non reciproca del piano di polarizzazione della radiazione. È stata individuata una nuova configurazione di avvolgimento ad "otto", nel quale la fibra è avvolta su due mandrini cilindrici, la cui attuazione permette un accordo fine della birifrangenza indotta per curvatura e tensionamento, in modo che ogni "otto" sia un ritardatore ad onda intera. In collaborazione con la ditta Sirti SpA, questa nuova geometria di avvolgimenti è stata utilizzata per realizzare un rotatore di polarizzazione per radiazione alla lunghezza d'onda di 1300 nm: per tale dispositivo è stato ottenuto il brevetto italiano per invenzione industriale. Utilizzando la suddetta configurazione ad "otto" di rotatore è stato anche realizzato un isolatore ottico tutto fibra. Correlato a questa tematica è il Premio AEI "*O. Bonazzi*" per l'anno 1996 assegnato a Sabina Merlo come co-autore del miglior articolo pubblicato dall'AEI nel biennio 1994-1995 nel campo dell'elettronica sperimentale. L'isolatore ottico tutto fibra ha inoltre vinto il Premio Philip Morris per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, Edizione 1995, per l'area tematica Tecnologie dell'Informazione e delle Comunicazioni.

Nell'ambito di questa tematica di ricerca è stata anche studiata una nuova tecnica di isolamento per laser a semiconduttore di potenza, con emissione a 980 nm, usati per il pompaggio del mezzo attivo (fibra drogata con Erblio) di amplificatori ottici EDFA. L'aspetto innovativo del lavoro è consistito nella realizzazione del ritardatore con una spira di fibra di raggio opportuno e nell'utilizzo del laser stesso come polarizzatore. Inoltre, è stata messa a punto una tecnica di misura per valutare l'effettivo isolamento ottenibile con questo dispositivo. Essa è basata sull'analisi della modulazione di ampiezza della potenza emessa dal laser, che viene indotta in presenza di variazioni di cammino ottico nella cavità esterna formata dal laser e dal retroriflettore remoto. Livelli tipici di isolamento ottenuto sono dell'ordine di 20 dB, sufficienti in molti casi pratici per mantenere lo spettro del laser di pompa imperturbato.

4.4 Attenuatori ottici in fibra

Sabina Merlo si è occupata dello studio e della realizzazione di attenuatori in fibra ottica di nuova concezione da impiegarsi nelle reti di comunicazione ottiche. La tecnica investigata si basa sull'utilizzo di film metallici depositi in punta di fibra ed inclusi in un giunto, che permettono di ottenere il profilo di

attenuazione desiderato sull'intervallo di lunghezze d'onda di interesse. Inizialmente è stato sviluppato un metodo per l'estrazione dei parametri ottici dai dati ricavati tramite misure effettuate su film metallici depositi su un substrato di vetro. Questo metodo risulta utile per una progettazione rapida ed efficiente di componenti con attenuazione controllata. In particolare, deponendo una lega NiCu su fibre standard per telecomunicazioni sono stati realizzati dispositivi con attenuazione costante (entro $\pm 10\%$) nell'intervallo di lunghezza d'onda comprendente la seconda e terza finestra di trasmissione delle fibre ottiche.

4.5 Affidabilità di fibre ottiche avvolte

Sabina Merlo si è dedicata all'analisi di affidabilità di fibra ottica standard per telecomunicazioni sottoposta a raggi di curvatura inferiori a 6 mm, che è di interesse sia per i componenti passivi per applicazioni fotoniche già descritti, che per l'installazione di reti in fibra ottica in interno ove è frequente la necessità di curvare la fibra a raggi ridotti. Con questo studio, teorico e sperimentale, *SM* ha verificato sperimentalmente la validità del modello teorico di Weibull per la distribuzione dei tempi di guasto, determinando i parametri caratteristici della distribuzione che esprime l'andamento dell'affidabilità della fibra avvolta in funzione del tempo di vita e del raggio di avvolgimento, ed evidenziando l'elevata affidabilità della fibra ottica curvata, anche su diametri inferiori ad 1 cm.

Capitoli di libri relativi a **Sensori in fibra ottica**

- S. Merlo, L. W. Burgess, P. Yager, **Development of a fiber optic sensor for detection of general anesthetics and other small organic molecules**, pp.155-169 in "Advanced methods of pharmacokinetic and pharmacodynamic systems analysis", David D'Argenio Ed., Plenum Press, New York, USA, ISBN 978-0-306-44028-1, 1991.
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, **Single-mode fiber optic sensors**, Cap. V pp. 261-329 in "Single-Mode Fiber Optics Measurement: Characterization and Sensing", G. Cancellieri Ed., Artech House, Dedham, MA, USA, ISBN: 978-0890066027, 1993.
- P. Yager, S. B. Abrams, S. Merlo, **Liposome-based optical sensor for general anesthetics: implementation of phase transition sensing**, pp. 227-270 in "Current Topics in Biophysics", Vol. 3, D. Nikolelis, U. J. Krull Ed., "Al. I. Cuza" University Press, Iasi, Romania, ISBN: 973-9149-54-5, 1995.
- S. Merlo, M. Norgia, S. Donati, **Fiber gyroscope principles**, Cap. 16 pp. 331-348 in "Handbook of fibre optic sensing technology", J. M. Lopez-Higuera Ed., John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, ISBN: 978-0-471-82053-6, 2002.
- F. Casciati, S. Merlo, G. Zonta, **Bridge monitoring by optical fiber device**, pp. 43-56 in "Civil infrastructure systems: Intelligent renewal", F. Casciati et al. Eds., World Scientific, Singapore, ISBN: 978-9810235406, 1998.
- F. Casciati, S. Merlo, G. Zonta, **Intensity fiber optic sensors for civil infrastructures**, pp. 209-218 in "Fiber optic sensors for construction materials and bridges", F. Ansari Ed., Technomic Publishing, Lancaster, PA, USA, ISBN: 978-1566766715, 1998.
- P. Abbiati, F. Casciati, S. Merlo, **Vibration monitoring with fiber optic sensor**, pp. 44-56 in "Condition monitoring of materials and structures", F. Ansari Ed., ASCE Press, ISBN: 978-0-7844-0495-9, 2000.

Pubblicazioni su riviste indicizzate WOS e/o SCOPUS relative a **Sensori e componenti in fibra ottica**

- S. Merlo, L. W. Burgess, P. Yager, **An optical method for detecting anesthetics and other lipid-soluble compounds**, *Sensors and Actuators*, Vol. A21-A23, pp. 1150-1154 (Elsevier, 1990). DOI: 10.1016/0924-4247(90)87106-S
- S. Merlo, P. Yager, **Optical method for monitoring the concentration of general anesthetics and other small organic molecules -- An example of phase transition sensing**, *Analytical Chemistry*, Vol. 62, pp. 2728 – 2735 (ACS, USA, 1990). DOI: 10.1021/ac00223a015
- P. Abbiati, F. Casciati, S. Merlo, **An optical fibre sensor for dynamic structural response monitoring**, *Journal of Structural Control*, Vol. 7, No. 1, pp. 35-49 (Wiley, 2000). DOI: 10.1002/stc.4300070104
- V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, **Coiled-fiber sensor for vectorial measurement of magnetic field**, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 10 No. 12, pp. 2006-2010 (1992). DOI: 10.1109/50.202810
- V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, A. Leona, **All-fiber Faraday rotator made by a multiturn figure-of-eight coil with matched birefringence**, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 13 No. 12, pp. 2349-2353 (1995). DOI: 10.1109/50.475574

- V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, L. Zucchelli, F. Martinez, **Protecting a power laser-diode from retroreflections by means of a fiber $\lambda/4$ retarder**, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 8 No. 4, pp. 485-487 (1996). DOI: 10.1109/68.491091
- V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, D. Beltrami, **Fast characterization of metal films for fiber attenuators**, *Applied Optics*, Vol. 37 No. 22, pp. 5298-5301 (OSA, 1998). DOI: 10.1364/AO.37.005298
- V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, D. Beltrami, R. Galeotti, **Metal-film fiber attenuators with flat spectral response**, *Optical Fiber Technology*, Vol. 5, pp.331-337 (Academic Press, USA, 1999). DOI: 10.1006/ofte.1999.0301
- V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, G. Zapelloni, **Statistical analysis of fiber failures under bending-stress fatigue**, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15 No. 2, pp. 288-293 (1997). DOI: 10.1109/50.554379
- F. Carpignano, G. Rigamonti, T. Migliazza, S. Merlo, **Refractive index sensing in rectangular glass micro-capillaries by spectral reflectivity measurements**, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (Special Issue on Biophotonics, 2016)*, Vol. 22, No. 3, pp. 7100309_1-7100309_9 (2016). DOI: 10.1109/JSTQE.2015.2455339
- G. Rigamonti, M. Guardamagna, V. Bello, S. Marconi, F. Auricchio, S. Merlo, **Flow-through micro-capillary refractive index sensor based on T/R spectral shift monitoring**, *Biomedical Optics Express*, Vol. 8, No. 10, pp. 4438-4453 (2017). DOI:10.1364/BOE.8.0044382017.
- G. Rigamonti, V. Bello, S. Merlo, **Spectral optical readout of rectangular – miniature hollow glass tubing for refractive index sensing**, *Sensors*, Vol. 18, No. 2, Article No. 603, (2018) DOI:10.3390/s18020603

Brevetti

- P. Yager, R. Thompson, S. Merlo: **Fluorescence-based optical sensor and method for detection of lipid-soluble analytes**, U.S. Patent No. 5,094,819 (1992); Fluorescence-based optical sensor for detection of lipid-soluble analytes, Brevetti: WO9100510, CA2019066, AU5932290, Assegnati a Washington Research Foundation - Seattle, WA (USA).
- T. Tambosso, V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, **Rotatore di Faraday per fibra ottica**, Brevetto per Invenzione Industriale No. IT1269905, Assegnato a: Sirti S.p.A. - Milano, Data di deposito: 23 marzo 1994, Data del brevetto: 16 aprile 1997.

5. Limiti di rumore in sistemi elettroottici

5.1 Limite quantico di rumore

I continui progressi nelle tecniche di fotorivelazione hanno portato molti sistemi di misura elettroottici a raggiungere il limite quantico di rivelazione rappresentato dal rumore granulare della radiazione. Tale limite può essere superato solo utilizzando radiazione con statistica subpoissoniana (radiazione spremuta), come è stato dimostrato sia teoricamente che sperimentalmente. *SM* ha dato un contributo innovativo in questo settore sviluppando una trattazione "semiclassica" della rivelazione che, oltre ad essere formalmente corretta poiché tiene conto delle caratteristiche quantistiche della radiazione, descrive le conseguenze dell'uso di radiazione spremuta in termini di correnti fotorivelate, correnti di rumore, e miglioramento del rapporto segnale-rumore, ovvero utilizzando quantità direttamente misurabili e con un immediato significato ingegneristico. Sono stati analizzati diversi schemi di rivelazione per individuare quelli potenzialmente più adatti per essere utilizzati con radiazione spremuta e, per quanto riguarda le applicazioni alla sensoristica, è stata considerata in dettaglio la configurazione interferometrica di Mach-Zehnder. E' stato valutato il miglioramento del rapporto segnale-rumore ottenibile con radiazione spremuta ed è stato studiato l'effetto dell'attenuazione sulla statistica del segnale.

5.2 Rumore termodinamico di fase nei sistemi a fibra ottica

Per quanto riguarda gli interferometri a fibra ottica con lunghi percorsi in fibra, il limite di sensibilità può derivare dal rumore di fase causato dalle fluttuazioni termodinamiche del cammino ottico, cioè di lunghezza e indice di rifrazione della fibra, a temperature diverse dallo zero assoluto. *SM* ha contribuito a dimostrare che il rumore termodinamico di fase può rappresentare il limite ultimo di rivelazione per le configurazioni interferometriche di Mach-Zehnder, Michelson e Fabry-Perot, e per il risonatore ad anello. Lo stesso contributo di rumore viene invece fortemente ridotto nella configurazione Sagnac, grazie alla correlazione fra i contributi di fluttuazione raccolti dalle onde che si propagano nello stesso tratto di fibra ma in sensi opposti. L'analisi teorica svolta è particolarmente importante per la

valutazione delle prestazioni dei giroscopi in fibra ottica che effettivamente sono basati su avvolgimenti di lunghi tratti di fibra.

5.3 Statistica dei fotoni in amplificatori ottici in fibra

È stato esaminato teoricamente l'effetto dell'amplificazione sulla statistica dei fotoni di segnale, considerando sia gli amplificatori che utilizzano fibra ottica drogata sia quelli basati sugli effetti non lineari in fibra quali la miscelazione a quattro onde, con particolare riferimento al funzionamento in regime di saturazione e in presenza di svuotamento della pompa, situazioni che spesso si verificano in condizioni sperimentali. Gli amplificatori vengono rappresentati come una cascata di "divisori di fascio amplificanti" in modo che per ogni sezione di fibra la pompa possa essere considerata costante. In questo modo, lo svuotamento della pompa nel processo di amplificazione può essere gestito con un'analisi numerica, senza dover ricorrere ad un complesso formalismo quantistico. È stata condotta quindi una analisi di rumore basata sull'evoluzione del fattore di Fano lungo la tratta di fibra ottica che realizza l'amplificazione, verificando che i risultati così ottenuti fossero in accordo con quelli ricavati con altri metodi. Dati sperimentali, in accordo con il modello elaborato, sono stati successivamente riportati da altri autori.

Pubblicazioni su riviste indicizzate WOS e SCOPUS relative a **Limiti di rumore in sistemi elettroottici**

V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, **Squeezed states in direct and coherent detection**, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 24, pp. 285-301 (Chapman and Hall, UK 1992).

DOI: 10.1007/BF00619404

V. Annovazzi-Lodi, S. Donati, S. Merlo, **Thermodynamic phase noise in fiber interferometers**, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 28, pp. 43-49 (Chapman and Hall, UK, 1996). DOI: 10.1007/BF00578549

V. Annovazzi-Lodi, S. Merlo, **A semiclassical model for noise propagation in depleted-pump optical amplifiers**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 34 No. 10, pp.1823-1829 (1998). DOI: 10.1109/3.720213

III. ATTIVITÀ DIDATTICA

● Attività didattica svolta presso aziende o enti di ricerca

- Optoelectronic Research Centre - University of Southampton, UK, Erasmus Staff Mobility Grant 2011, 7 ore di lezione per studenti di PhD, Luglio 2012

- Istituto Ortopedico "Rizzoli", Bologna, Italia - Corso "Optoelettronica Biomedica", 8 ore pari a 8 crediti ECM, Febbraio 2010

- Alcatel-Lucent, Vimercate, Milano, Attività di formazione in azienda per i dipendenti: seminari relativi a Fotorivelazione, e Microsistemi, MEMS e MOEMS, Febbraio-Marzo 2007

● Attività didattica svolta presso l'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA dall'AA 1991-1992 all'AA 2018-2019

*Insegnamenti

AA 1991-1992

-Tutore per l'insegnamento di Geometria (1° anno del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica); Attività svolte: esercitazioni numeriche e partecipazione a commissioni d'esame.

AA 1992-1993

AA 1993-1994

AA 1994-1995

AA 1995-1996

AA 1996-1997

- Esercitatore per i corsi di Optoelettronica e Elettronica I, tenuti presso la Facoltà di Ingegneria di Pavia, per gli studenti del 4° e 5° anno del Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Elettronica.

Attività svolte: esercitazioni numeriche, esercitazioni pratiche di laboratorio e partecipazione a commissioni d'esame dei corsi di Optoelettronica ed Elettronica.

AA 1997-1998

AA 1998-1999

AA 1999-2000

AA 2000-2001

- Corsi in affidamento come supplenza retribuita

Elettronica DU Modulo A e Modulo B (10 CFU) per gli studenti dei Corsi di Diploma Universitario in Ingegneria Elettronica, in Ingegneria Informatica ed Automatica, ed in Ingegneria Biomedica.

-Esercitatore per i corsi di Optoelettronica, tenuti presso la Facoltà di Ingegneria di Pavia, per gli studenti del 4° e 5° anno del Corso di Laurea quinquennale in Ingegneria Elettronica.

Attività svolte: esercitazioni numeriche, esercitazioni pratiche di laboratorio e partecipazione a commissioni d'esame dei corsi di Optoelettronica.

AA 2001-2002

AA 2002-2003

Compiti istituzionali come PA

- Circuiti e Sistemi Elettronici (5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

- Elettronica I MN, mod. B (4,5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica dell'Università di Pavia, sede di Mantova.

AA 2003-2004

AA 2004-2005

Compiti istituzionali come PA

- Circuiti e Sistemi Elettronici (5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

- Optoelettronica Biomedica (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica.

AA 2004-2005

Relatore (giugno 2005-aprile 2006) di:

2 Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

1 Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica v.o.

AA 2005-2006

Compiti istituzionali come PA

- Circuiti e Sistemi Elettronici (5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

- Optoelettronica Biomedica (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica.

Corso in affidamento gratuito

-Strumentazione Optoelettronica (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica.

Contributi ad altri insegnamenti

- Lezioni nell'ambito di Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Biomedica.

Relatore (giugno 2006-aprile 2007) di:

1 Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

1 Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica v.o.

AA 2006-2007

AA 2007-2008

AA 2008-2009

Compiti istituzionali come PA

- Circuiti e Sistemi Elettronici (5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

- Optoelettronica Biomedica (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica.

Contributi ad altri insegnamenti

- Lezioni nell'ambito dell'insegnamento di Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Biomedica.

- Lezioni su tematiche relative a MEMS e MOEMS nell'ambito dell'insegnamento di Robotica, per studenti di Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica.

AA 2006-2007

Relatore (giugno 2007-aprile 2008) di:

1 Tesi di Laurea Specialistica in Bioingegneria

AA 2007-2008

Relatore (giugno 2008-aprile 2009) di:

7 Tesi di Laurea Specialistica in Bioingegneria ()

2 Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

AA 2008-2009

Relatore (giugno 2009-aprile 2010)

4 Tesi di Laurea Specialistica in Bioingegneria

AA 2009-2010

Compiti istituzionali come PA

- Circuiti e Sistemi Elettronici (5 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni.

- Optoelettronica Biomedica (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica.

Corso in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (5 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica e Ingegneria Informatica.

Relatore (giugno 2010-aprile 2011)

2 Tesi di Laurea Specialistica in Bioingegneria

AA 2010-2011

Compiti istituzionali come PA

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica e del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

AA 2011-2012

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (9 CFU) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni e del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Corso in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (6 CFU) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica, e Bioingegneria.

Contributi ad altri insegnamenti

- Lezioni sulle tematiche di Biofotonica nell'ambito dell'insegnamento di Strumentazione Optoelettronica e Biofotonica (3 CFU di 9), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica.

- Lezioni su tematiche relative a MEMS e MOEMS nell'ambito degli insegnamenti di Robotica e di Fotonica, per studenti di vari Corsi di Laurea della Facoltà di Ingegneria.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

Relatore (giugno 2012-aprile 2013) di:

1 Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

1 Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

AA 2012-2013

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (5 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Elettronica I (4 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

Tutor di una dottoranda in Ingegneria Elettronica, Informatica ed Elettrica (2010-2013)

Tutor di una dottoranda in Bioingegneria e Bioinformatica (2010-2013)

Relatore (giugno 2013-aprile 2014) di:
4 Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria
7 Elaborati di Laurea Triennale in Bioingegneria

AA 2013-2014

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (5 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Elettronica I (4 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

Relatore (giugno 2014-aprile 2015) di:

1 Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

3 Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

3 Elaborati di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica

1 Elaborato di Laurea Triennale in Bioingegneria

AA 2014-2015

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (5 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Elettronica I (4 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Electronic Engineering.

Altri compiti didattici

Relatore (giugno 2015-aprile 2016) di:

1 Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

2 Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

5 Elaborati di Laurea Triennale in Bioingegneria

1 Elaborato di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Informatica

AA 2015-2016

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (6 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering, Ingegneria Informatica, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Electronic Engineering.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

Relatore (giugno 2016-aprile 2017) di:

8 Elaborati di Laurea Triennale in Bioingegneria

2 Elaborati di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Informatica

2 Tesi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering

AA 2016-2017

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I (5 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Elettronica I (4 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria e Electronic Engineering.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering, Computer Engineering, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Electronic Engineering.

Altri compiti didattici

- Incarico di insegnamento nel Master di 2° livello in Ingegneria Clinica per lezioni sul tema Optoelettronica Biomedica.

Relatore (giugno 2017-aprile 2018) di:

3 Elaborati di Laurea Triennale in Bioingegneria 1 Elaborato di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e Informatica

1 Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

Tutor di una dottoranda in Bioingegneria e Bioinformatica (2014-2017)

AA 2017-2018

Compiti istituzionali come PA

- Elettronica I A-K (6 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Elettronica I A-K (6 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria e Electronic Engineering.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering, Computer Engineering, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Electronic Engineering.

Relatore (giugno 2018-aprile 2019) di:

2 Elaborati di Laurea Triennale in Bioingegneria 4 Tesi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering

AA 2018-2019

Compiti istituzionali come PO

- Elettronica I A-K (6 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Bioingegneria.

- Elettronica I A-K (6 CFU di 9) per gli studenti del secondo anno del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica ed Informatica.

- Optoelettronica Biomedica (6 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria e Electronic Engineering.

Corsi in affidamento gratuito

- Microsensori, Microsistemi integrati e MEMS (2 CFU di 6) per gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale in Electronic Engineering, Computer Engineering, Ingegneria Elettrica, Bioingegneria.

- Biofotonica Mod. A (3 CFU), per gli studenti del Corso di Laurea Magistrale in Electronic Engineering.

Tutor di una dottoranda in Ingegneria Elettronica, Informatica ed Elettrica (2018-2021)

● Attività tutoriale

Oltre alle tesi/elaborati di Laurea già citati, è stata relatore/correlatore di tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica del vecchio ordinamento e tutor universitario degli studenti del Diploma Universitario in Elettronica durante lo svolgimento del tirocinio presso le aziende.

E' stata responsabile dei progetti di tutorato per il corso di Elettronica DU nell'AA 2000-2001 e per il corso di Elettronica I MN nell'AA 2002-2003. E' responsabile del progetto di tutorato per il corso di Elettronica I dall'AA 2017-2018.

E' stata relatore di tesi di laurea e dottorato risultate vincitrici di premi:

AA 2014-15 Marco Rossi Borghesano, Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

Edmund Optics 2015 Educational Award Finalist - Europe

Premio di Laurea del Gruppo Nazionale di Bioingegneria 2016 "Luigi Divieti e Marisa Maranzana", PoliMI

"Transilluminazione con radiazione infrarossa di tessuti biologici: studio e realizzazione di un sistema per diagnostica biomedica"

AA 2012-13 Laura Terminelli, Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

Premio di Laurea del Gruppo Nazionale di Bioingegneria 2014 "Health & Wealth", UniBrescia

"Photoplethysmography and electrocardiography for pulse transit time evaluation as a diagnostic marker of peripheral vascular disease"

AA 2012-13 Monia Giustozzi, Tesi di Laurea Magistrale in Bioingegneria

Premio Dotti-Lombardi 2014, UniPV

"Strutture in silicio microlavorato: caratterizzazione mediante tomografia ottica ed applicazione per colture cellulari 3D"

AA 2012-13 Francesca Carpignano, Tesi di Dottorato in Bioingegneria e Bioinformatica

Premio di Dottorato del Gruppo Nazionale di Bioingegneria & Patron 2014
"A new 3D silicon microstructure for simultaneous cell culture and label-free optical transduction"

● **Attività didattica organizzativa**

Attualmente è:

-Referente dal 2013 del corso di Laurea Magistrale (in Inglese) in Electronic Engineering (LMEE) dell'Università di Pavia

Questo ruolo implica attività, quali: valutazione piani di studio, valutazione adeguatezza curricula di studenti stranieri che si vogliono iscrivere alla LMEE (Commissione prevalutazione), gestione pratiche studenti varie (riconoscimenti, abbreviazioni di carriera, etc) gestione test ammissione a LMEE, definizione e gestione commissioni di Laurea, verifica coperture didattiche, relazioni di riesame annuale e ciclico, scheda SUA, verifica regolamenti annuali del corso di studi, presentazioni LMEE a futuri iscritti.

-Responsabile del progetto LMplus per LMEE

Questo ruolo implica attività quali: ricerca e gestione contatti con aziende, definizione dei progetti in collaborazione con responsabili aziendali, illustrazione del progetto LMplus in varie sedi, valutazione degli studenti.

-Membro della Commissione Paritetica di Tutorato della Facoltà di Ingegneria di Pavia

-Responsabile del progetto di Tutorato per Elettronica 1

-Membro del Comitato Direttivo della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia

-Membro del collegio docenti del Dottorato in Microelettronica

-Membro della Commissione di Facoltà - Incremento Matricole 2017-2018

È stata:

-Presidente Vicario del Consiglio Didattico dell'Ingegneria dell'Informazione dal 2017 al 2018

-Membro del collegio docenti del Dottorato in Ingegneria Elettronica, Elettrica ed Informatica.

-Membro del Gruppo di Autovalutazione per il progetto CampusONE (2001-2004) per la Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni di Pavia.

-Delegata all'orientamento per il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica, svolgendo attività di orientamento per gli studenti delle scuole medie superiori, partecipando a varie manifestazioni organizzate dal Centro di Orientamento Universitario (COR) e contribuendo alla stesura degli opuscoli informativi.

Si è occupata dell'organizzazione e gestione del Laboratorio Didattico di Elettroottica (del DIII di Pavia), per quanto riguarda lo svolgimento delle esercitazioni dei corsi di Optoelettronica. In particolare, nell'anno accademico 1995-1996, aveva introdotto le esercitazioni di laboratorio di Misure Optoelettroniche, per gli studenti del corso di Optoelettronica II, con modalità analoghe alle esercitazioni di Laboratorio dei corsi di Elettronica. Aveva inoltre contribuito alla stesura delle Dispense utilizzate dagli studenti dei corsi di Optoelettronica.

A Sabina Merlo sono stati attribuiti incentivi, ai sensi dell'art. 4 – Legge 370/99 e del regolamento d'Ateneo, per gli AA 1999/2000 e 2000/2001 "per l'attività di orientamento progettuale e informativo, svolta presso il Centro Orientamento Universitario", e per l'AA 2001/2002 "per le attività progettuali e per quelle miranti ad ottenere una migliore qualità della didattica con particolare riferimento all'innovazione metodologica e tecnologica, per le attività formative propedeutiche, integrative e di recupero, nonché per le attività di orientamento, assistenza e di tutorato svolte presso la Facoltà di Ingegneria".

● **Partecipazioni a commissioni di esame di dottorato**

2008 - Componente della commissione per l'esame finale del Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione del Politecnico di Milano

2009 - External Examiner per PhD Dissertation, Electrical & Electronical Engineering School, Nanyang Technological University, Singapore

2010 - Componente della commissione per l'esame finale del Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Pisa

2010 - Componente della commissione per l'esame finale del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Elettronica dell'Università di Pavia

2012 - Componente della commissione per l'esame finale del Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Siena

2015 - Componente della commissione per il concorso di ammissione al XXXI Ciclo del Dottorato di Ricerca in Microelettronica dell'Università di Pavia

IV. ATTIVITÀ ORGANIZZATIVE ED ISTITUZIONALI

Attualmente è:

-Responsabile del Laboratorio di Elettroottica del DIII di Pavia

-Associate Editor della rivista IEEE/ASME Journal of MicroElectroMechanicalSystems, dal 2006

-Associate Editor della rivista *Micromachines*, dal 2018

-Guest Editor della rivista *Sensors (MDPI)* per lo *Special Issue* 2109 "Refractive Index Sensors"

- Revisore attivo per diverse riviste scientifiche tra cui Electronics Letters, IEEE Photonics Technology Letters, IEEE Journal of Quantum Electronics, IEEE Sensors; IOP Measurement Science and Technology, IOP Journal of Micromechanics and Microengineering, MDPI Sensors, MDPI Micromachines
- Iscritta all'Albo Reprise (in precedenza Albo dei Revisori del MIUR)
- Membro del Direttivo del Gruppo Tematico di Fotonica e Elettro-Ottica (FEO) dell'AEIT
- Senior Member* di IEEE-Photonics Society
- Membro del Comitato Tecnico Scientifico del CISRiC (Centro Interdipartimentale di Studi e Ricerche per la Conservazione del Patrimonio Culturale) dell'Università di Pavia
- Membro dell'Unità di Pavia del consorzio risultato idoneo al finanziamento da parte della regione Lombardia per il progetto "Fluidica intelligente per Life Science" nell'ambito di POR FESR 2014-2020. Responsabile dello sviluppo di sistemi di misura senza contatto e minimamente invasivi, basati su tecniche ottiche innovative, per controlli diretti sul sistema fluidico e segnalazione allarmi, al fine di operare verifiche quali: presenza/assenza di fluido, presenza di fluido in movimento o statico, corretta concentrazione di soluzioni di composizione nota.
- Professionista dichiarato idoneo per la valutazione di piani di sviluppo finanziati dalla Regione Valle d'Aosta (dal 2015).
- Consulente tecnico-scientifico della Regione Valle d'Aosta e della Finanziaria Regionale Valle d'Aosta Spa (FINAOSTA) per la fase di gestione del piano di ricerca presentato dalle società "Novasis Innovazione S.r.l." e "Aisico S.r.l." relativamente al progetto "FALKOR -Piattaforma multi uso di rilievo di emissioni odorifere, gas tossici ed inquinanti, con drone" 2018-2019.
- Referente ("Advisor") del neo-costituito IEEE Women in Engineering Student Branch Affinity Group presso l'Università di Pavia

È stata:

- Guest Editor* della rivista *Micromachines* per lo *Special Issue* 2107 "Silicon Micromachined Devices: Outlook and Challenges for Future Applications"
- Membro del Comitato Tecnico del Convegno Fotonica 2018, 20a Edizione del Convegno Italiano delle Tecnologie Fotoniche, Lecce, Giugno 2018
- Membro del Comitato Tecnico del Convegno Fotonica 2017, 19a Edizione del Convegno Italiano delle Tecnologie Fotoniche, Padova, Maggio 2017 e Chairperson della sessione A5 Biomedical Sensing
- Chairperson della sessione C2 - PLASMONIC COMPONENTS, Fotonica 2016
- Chairperson della sessione B1 - SPECTROSCOPY AND HOLOGRAPHY, Fotonica 2013
- Chairperson della sessione OPTICAL SYSTEMS, AISEM 2009
- Membro del Comitato Organizzatore di Elettroottica '94, 3° Convegno Nazionale "Strumentazione e metodi di misura elettroottici" tenutosi a Pavia nel 1994
- Segretario delle Giornate di Studio dell'AEI organizzate presso l'Università degli Studi di Pavia: L'Interferometro Laser per l'Industria (1995); Amplificatori ottici II (1996)
- Membro del comitato tecnico del convegno internazionale Optoelectronic Distance/Displacement Measurement and Applications ODIMAP II promosso da IEEE/LEOS, tenutosi a Pavia nel 1999
- Revisore per il MIUR di progetti: "Futuro in Ricerca" 2013, SIR, PRIN 2008, PRIN 2007
- Membro della Commissione tecnica di valutazione delle domande presentate in risposta al "Bando a favore di imprese industriali per la realizzazione di progetti di ricerca e sviluppo negli ambiti della Smart specialisation strategy (S3) della Valle d'Aosta", Agosto 2017
- Valutatore di un progetto di ricerca presentato in risposta al Bando 2017 "Innovational Research Incentives Scheme – Vidi" del Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO)
- Valutatore di un progetto di ricerca presentato in risposta al Bando 2017 CONICET-CUIA Progetto di cooperazione bilaterale ITALIA-ARGENTINA
- Valutatore di un progetto di ricerca presentato in risposta al bando Team 2009 della Provincia autonoma di Trento nel 2009
- Responsabile dell'attività di ricerca relativa alla realizzazione e caratterizzazione ottica di microstrutture in silicio, inserita nel programma del progetto del Dipartimento di Biochimica di Pavia finanziato dalla Fondazione CARIPO nel 2007
- Responsabile locale dell'Unità di Pavia nell'ambito del PRIN 2002 dal titolo "Matrici di microspecchi in silicio per commutazione ottica"
- Responsabile locale dell'Unità di Pavia nell'ambito del PRIN 2007 dal titolo "Microsistemi Optofluidici a Cristalli Fotonici per Biosensori"
- Membro dell'Unità di Pavia dei progetti OCCULT e PICASSO, finanziati dall'Unione Europea
- Coordinatore nazionale del progetto finanziato dalla Fondazione Alma Mater Ticinensis, 2010-2012
- Coordinatore nazionale del progetto finanziato dalla Fondazione CARIPO 2012-2014
- Responsabile del contratto di ricerca tra il DIII e la Finanziaria Regionale Valle d'Aosta Spa (FINAOSTA) relativo alla consulenza tecnico-scientifica per la fase di istruttoria e la fase di gestione del piano di ricerca presentato dalla società "Novasis Innovazione S.r.l." relativamente al progetto "NOVASENS – Nuova piattaforma sensoristica per sistemi di rilevamento smart di emissioni di gas inquinanti e tossici"

- Responsabile del contratto di ricerca finanziato da STMicroelectronics, “Ideazione e realizzazione di set-up di misure elettro-ottiche per dispositivi MOEMS con relativa caratterizzazione”, 2016-2017
- Responsabile del contratto di ricerca biennale finanziato da STMicroelectronics, “Caratterizzazione opto-elettromeccanica di componenti MEMS”, 2012-2014
- Responsabile del contratto per attività di Formazione finanziato da Alcatel, 2007

- Segretario nella commissione per la procedura di valutazione comparativa per un posto di Ricercatore ssd K01X bandito dall’Università di Perugia - II tornata 1999
- Componente della commissione per la procedura di valutazione comparativa per un posto di Ricercatore ssd ING-INF/01 bandito dal Politecnico di Torino - III tornata 2006
- Membro della Giunta di Dipartimento di Elettronica, per i trienni 2001-2003 e 2006-2009
- Segretario del Consiglio di Corso di Laurea di Elettronica dell’Università di Pavia, dal 1 Gennaio 2001 al 31 Ottobre 2001
- Membro della commissione Esami di Stato di Pavia per l’abilitazione all’esercizio della professione di Ingegnere per gli anni 2000, 2007, 2010, 2011 in qualità di esperto della prova di Ingegneria Elettronica
- Presidente del seggio istituito presso la Facoltà di Ingegneria di Pavia per le elezioni delle commissioni giudicatrici delle procedure di valutazione comparative della II sessione 2001
- Componente di Commissioni giudicatrici di concorsi pubblici per posti dell’area tecnica, tecnico-scientifica ed elaborazione dati presso il Dipartimento di Elettronica di Pavia – Maggio 2002 e Luglio 2005 e Componente di varie Commissioni giudicatrici per l’assegnazione di borse di studio e assegni di ricerca

Sabina Merlo

Marzo 2018