

Verbale della riunione del Collegio dei docenti della Scuola di dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazione del **12 DICEMBRE 2013 ore 15.00.**

La riunione, convocata con posta elettronica del 6 dicembre 2013 (All. A), si è tenuta nell'Aula Magna "Antonio Lepschy" DEI/A, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.

**Presenti:**

Leonardo Badia, Andrea Bagno, Alessandra Bertoldo, Andrea Bevilacqua, Gianfranco Bilardi, Giancarlo Calvagno, Sergio Canazza, Luca Corradini, Guido Maria Cortelazzo, Chiara Dalla Man, Carlo Ferrari, Gaudenzio Meneghesso, Andrea Neviani, Piergiorgio Nicolosi, Enrico Pagello, Morten Pedersen, Silvano Pupolin, Giovanni Sparacino, Giorgio Spiazzi, Maria Francesca Susin, Paolo Tenti, Giuseppe Vallone, Lorenzo Vangelista, Stefano Vassanelli, Pietro Zanuttigh. Dottorandi: Chiara Fabris.

**Assenti giustificati:**

Alessandro Beghi (sostituisce Luca Schenato), Matteo Bertocco, Antonio D. Capobianco, Ruggero Carli, Claudio Cobelli, Barbara Di Camillo, Augusto Ferrante, Boris Kovatchev, Gabriele Manduchi, Emanuele Menegatti, Claudio Narduzzi, Gianluca Nucci, Alessandro Paccagnella, Enoch Peserico, Giorgio Satta, Federico Turkheimer, Giovanni Verzellesi, Paolo Villorosi, Harald Wimmer, Enrico Zanoni, Michele Zorzi. Dottorando: Filippo Basso

**Assenti:**

Federico Avanzini, Andrea Cester, Lorenzo Finesso, Nicola Laurenti, Luca Palmieri, Michele Pavon, Gianluigi Pillonetto, Michele Rossi, Francesco Ticozzi, Gianna Toffolo, Sandro Zampieri.

**ORDINE DEL GIORNO**

1. Approvazione verbale seduta precedente (21 maggio 2013)
2. Comunicazioni
3. Valutazione annuale dei dottorandi del primo e secondo anno e ammissione all'anno successivo
4. Ammissione all'esame finale: valutazione dell'attività svolta dai dottorandi XXVI ciclo e dai dottorandi del XXV ciclo in proroga
5. Pratiche studenti
6. Programmazione didattica 2014

Presiede la riunione il Vicedirettore Prof. Giovanni Sparacino, svolge le funzioni di Segretario il Prof. Carlo Ferrari.

Il Vicedirettore propone che **il verbale venga redatto, letto ed approvato seduta stante**.  
Il Collegio approva

### **1. Approvazione verbale seduta precedente (21 maggio 2013)**

Il Vicedirettore porta all'approvazione del Collegio il verbale della riunione del [21 maggio 2013](#). Il Collegio approva.

### **2. Comunicazioni**

#### Concorso di ammissione 29^ ciclo

Il Vicedirettore riassume brevemente i dati relativi alle domande pervenute dai candidati:

Domande pervenute: 56  
Curriculum Bioingegneria: 15  
Curriculum ICT: 41  
entrambi i curriculum: 9

Le graduatorie ufficiali sono state pubblicate sul sito di Ateneo il giorno 10 dicembre.

Il Collegio prende atto.

#### Academic English Courses for PhD students

Il Centro Linguistico di Ateneo anche quest'anno, di concerto con il Servizio Formazione alla Ricerca, attiverà 4 corsi di inglese accademico destinati a studenti di Dottorato dell'Ateneo di Padova attualmente iscritti al primo anno di corso (28° ciclo).

Tutte le informazioni sui contenuti dei corsi e sulle modalità di iscrizione sono consultabili online all'indirizzo:

<http://www.cla.unipd.it/cetest-firstpage/corsi/dottorandi/>

A questo proposito Il Centro Linguistico evidenzia che:

I corsi, destinati agli studenti del **28° ciclo**, si svolgeranno nel periodo gennaio/febbraio 2014.

Per accedere al corso è necessario superare un test d'ammissione scritto. Il test di ammissione si svolgerà nei giorni 13 e 17 dicembre. Nell'informativa sono indicati i turni, il luogo e le modalità d'iscrizione e di accesso al test. Il numero massimo di partecipanti per ciascun corso è pari a 20 studenti.

Il Collegio prende atto.

### 3. Valutazione annuale dei dottorandi e ammissione all'anno successivo

Il Vicedirettore ricorda al Collegio le modalità approvate circa l'ammissibilità dei dottorandi al **secondo e terzo anno e l'ammissione all'esame finale** (Verbale del [Consiglio Direttivo del 10 marzo 2010, punto 3. all'OdG](#)).

#### **I dottorandi del XXVIII ciclo:**

Bortoletto Roberto, Caldognetto Tommaso, Cappelleri Vincenzo Maria, Carron Andrea, Cecchetto Claudia, Daberdaku Sebastian, De Stefani Lorenzo, Giaretta Alberto, Khan Muhammad Saeed, Lissandron Stefano, Mandanici Marcellina, Padovan Fabio, Pagnutti Giampaolo, Pappalardo Irene, Passamani Antonio, Samory Mattia, Scandola Luca, Scarton Alessandra, Sertsu Mewael Giday, Spinello Fabio, Tagliavini Alessia, Todescato Marco, Tosello Elisa, Toso Giovanni, Visentin Roberto.

#### **I dottorandi del XXVII ciclo:**

Antonello Mauro, Barbato Marco, Basso Filippo, Bisi Davide, Bonetto Riccardo, Cavarro Guido, Cuccato Davide, Dal Lago Matteo, Dominio Fabio, Fabris Chiara, Frigo Guglielmo, Giollo Manuel, Guidolin Francesco, Levorato Riccardo, Mantoan Alice, Marangon Davide Giacomo, Ministeri Giulio, Perino Mauro, Peruch Francesco, Piccinini Francesca, Riz Michela, Vasquez Stanescu Jesus Alejandro.

**I dottorandi del XXVI ciclo:** Bari Daniele, Bogo Federica, Bonazza Michele, Canale Matteo, Caruso Michele, Castellaro Marco, Chiarello Fabrizio, Cisotto Giulia, Dall'Arche Alberto, De Santi Carlo, Finotello Francesca, Geronazzo Michele, Masiero Chiara, Mazzarella Luca, Mezzavilla Marco, Michieletto Stefano, Michielin Francesco, Munaretto Daniele, Munaro Matteo, Pasqualotto Elisabetta, Rossetto Isabella, Sartorio Francesco, Schiavon Michele, Schimd Michele, Simmini Francesco, Trifoglio Emanuele, Vaccari Simone, Zago Nicola, Zanandrea Alberto, Zecchin Chiara, Zordan Davide.

hanno consegnato la prescritta relazione annuale sull'attività svolta.

Sulla base della relazione annuale e dell'attività didattica seguita (così come dedotta dal database degli esami sostenuti), il Collegio unanime delibera di ammettere al secondo anno tutti i dottorandi del XXVIII ciclo sopra elencati.

Il Vicedirettore illustra al collegio i risultati della valutazione condotta dalle commissioni (Allegati 3.1-3.22) sulla base della relazione annuale e della presentazione dell'attività di ricerca svolta dai dottorandi del XXVII ciclo riguardante l'argomento sul quale verterà la tesi finale di dottorato di cui si riportano gli estremi:

- Antonello Mauro presenta una relazione sul tema: "3D Object recognition and pose estimation for mobile robots", Supervisore Prof. Emanuele Menegatti
- Barbato Marco presenta una relazione sul tema: "Dispositivi RF MEMS", Supervisore Prof. Gaudenzio Meneghesso

- Basso Filippo presenta una relazione sul tema: “ Ricostruzione 3D di ambienti di larga scala: calibrazione dei sensori”, Supervisore Prof. Emanuele Menegatti
- Bisi Davide presenta una relazione sul tema: “Dispositivi HEMT basati su semiconduttori composti AlGaIn/GaN”, Supervisore Prof. Gaudenzio Meneghesso
- Bonetto Riccardo presenta una relazione sul tema: “Power Management and Optimization in Smart Micro Grids”, Supervisore Prof. Michele Rossi
- Cavraro Guido presenta una relazione sul tema: “Distributed algorithms for Smart Grid Optimization”, Supervisore Prof. Sandro Zampieri
- Cuccato Davide presenta una relazione sul tema: “A Distributed Control Strategy for Optimal Reactive Power Flow”, Supervisore Prof. Alessandro Beghi
- Dal Lago Matteo presenta una relazione sul tema: “Caratterizzazione e affidabilità di sistemi di illuminazione a LED”, Supervisore Prof. Enrico Zanoni
- Dominio Fabio presenta una relazione sul tema: “Gesture Recognition for 3D man-machine interfaces”, Supervisore Prof. Guidomaria Cortelazzo
- Fabris Chiara presenta una relazione sul tema: “Sviluppo di metodi per l’analisi di segnali biomedici”, Supervisore Prof. Giovanni Sparacino
- Frigo Guglielmo presenta una relazione sul tema: “Compressive sensing: applicazioni di misura”, Supervisore Prof. Claudio Narduzzi
- Giollo Manuel presenta una relazione sul tema: “From snips to phenotypes and beyond: the effect of variants on the prediction of disease”, Supervisore Prof. Carlo Ferrari
- Guidolin Francesco presenta una relazione sul tema: “Analysis of spectrum sharing and sharing strategies in next generation mobile networks”, Supervisore Prof. Leonardo Badia
- Levorato Riccardo presenta una relazione sul tema: “ Event localization and classification using audio sensor networks with autonomous robots”, Supervisore Prof. Enrico Pagello
- Mantoan Alice presenta una relazione sul tema: “A lower limb neuromuscular model to estimate muscle activation patterns in stroke patients”, Supervisore Prof. Claudio Cobelli
- Marangon Davide Giacomo presenta una relazione sul tema: “Realizzazione di un innovativo metodo per la generazione di numeri casuali genuini a partire da schemi spaziali altamente complessi”, Supervisore Prof. Paolo Villoresi
- Ministeri Giulio presenta una relazione sul tema: “On the performance of channel occupancy detectors for Vehicular Ad-Hoc networks”, Supervisore Prof. Lorenzo Vangelista
- Perino Mauro presenta una relazione sul tema: “Sviluppo e caratterizzazione di biosensori plasmonici”, Supervisore Prof. Alessandro Paccagnella
- Peruch Francesco presenta una relazione sul tema: “(Semi)-automated analysis of dermatologic and dermatoscopic lesions”, Supervisore Prof. Enoch Peserico
- Piccinini Francesca presenta una relazione sul tema: “Development and use of a novel model of hepatic insulin extraction during an oral test”, Supervisore Prof. Chiara Dalla Man
- Riz Michela presenta una relazione sul tema: “Mathematical modeling of electrical activity and exocytosis in pancreatic beta-cells and intestinal L-cells”, Supervisore Prof. Claudio Cobelli

- Vasquez Stanescu Jesus Alejandro presenta una relazione sul tema: “Developments for the SPES control system: beam transport and safety system”, Supervisore Prof. Matteo Bertocco

Dopo discussione il Collegio delibera di ammettere al terzo anno tutti i dottorandi del XXVII ciclo sopra elencati.

#### **4. Ammissione all'esame finale: valutazione dell'attività svolta dai dottorandi del XXVI ciclo e dai dottorandi del XXV ciclo in proroga**

Il Vicedirettore illustra al collegio i risultati della valutazione condotta dalle commissioni sulla base della bozza della tesi e della presentazione dell'attività triennale svolta.

Sulla base delle valutazioni delle Commissioni (All. 4.1-4.27), il Collegio delibera all'unanimità l'ammissione all'esame finale degli studenti del XXVI ciclo e, di seguito, degli studenti del XXV ciclo in proroga:

BARI Daniele, CANALE Matteo, CARUSO Michele, CASTELLARO Marco, CHIARELLO Fabrizio, CISOTTO Giulia, DALL'ARCHE Alberto, DE SANTI Carlo, FINOTELLO Francesca, GERONAZZO Michele, MASIERO Chiara, MEZZAVILLA Marco, MICHIELETTO Stefano, MICHIELIN Francesco, MUNARETTO Daniele, MUNARO Matteo, PASQUALOTTO Elisabetta, ROSSETTO Isabella, SCHIAVON Michele, TRIFOGLIO Emanuele, VACCARI Simone, ZANANDREA Alberto, ZECCHIN Chiara, ZORDAN Davide; XXV ciclo: ARTICO Fausto, DANIELETTO Matteo, MILANI Emanuele.

Predisporre la presentazione di ciascuno di essi come di seguito riportata:

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **BARI Daniele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **BARI Daniele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

## Parte 1 Didattica

### Corsi seguiti che hanno dato esito ad un esame finale

- *Applied Linear Algebra*, Prof. H. Wimmer e Prof. T. Damm
- *Dose, Effect, Threshold*, Prof. A. Trevisan
- *Electrostatic Discharge in Integrated Circuits*, Prof. G. Meneghesso
- *Physical Models for the Numerical Simulation of Semiconductor Devices*, Prof. G. Verzellesi
- *Statistical Methods*, Prof. L. Finesso

### Corsi seguiti che non hanno dato esito ad un esame finale

- *Applied Function Analysis*, Prof. G. Pillonetto
- *Resonant Converters and Inverters: Topologies and Modeling*, Prof. G. Spiazzi

### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- Summer School, “*Sensors and Sensor Networks*”, Bressanone-Brixen (BZ), June 30<sup>th</sup> - July 6<sup>th</sup>, 2013

### Corsi seguiti seguiti in altre sedi

- *LabVIEW FPGA*, IRS Padova, Italia, Giugno 2013
- *LabVIEW Core 2*, IRS Padova, Italia, Dicembre 2012

- *LabVIEW Core 1, IRS Padova, Italia, Luglio 2012*
- *“Testing and Simulation Methods for Characterizing Radiation Effects in Advanced electronics”, NSREC 2012, Miami, FL, USA*

### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- *“Fotovoltaico organico: dalla ricerca di base all'industrializzazione”, Prof. Aldo Di Carlo, Università di Roma 'Tor Vergata', 10 Giugno 2013*
- *“La proprietà intellettuale”, Ing. M. Citron, PhD, CB Intellectual Property, 5 giugno 2013*
- *“Organic field-effect transistor structures: a truly multifunctional platform from light-emitting to cell stimulating and sensing transistors”, Dr. Michele Muccini, ISMN-CNR, Bologna, 3 Giugno 2013*
- *"Dye sensitized solar cells: toward a low cost photovoltaics", Prof. Aldo Di Carlo, Università di Roma 'Tor Vergata', Gennaio 2012*
- *"Field-effect multifunctional devices based on organic thin films", Dr. Michele Muccini, ISMN-CNR, Bologna, Gennaio 2012*
- *“Social networks - models, methods and analysis“, Distinguished Lecturer, Prabhakar Raghavan (Google, Mountain View, CA), Aula Magna 'A. Lepschy', 10 Settembre 2012.*
- *“The scientific legacy of hubble space telescope“, Distinguished Lecturer, Robert Williams (Space Telescope Science Institute/Baltimore, USA), Aula Magna 'A. Lepschy', 10 Ottobre 2012*
- *"Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED", Palazzo del Bo - Università degli Studi di Padova, 4 maggio 2011*
- *"My life in Silicon Valley", Impact Lecture, Dr. Federico Faggin, Foveon Inc., Aula Magna 'A. Lepschy' - DEI - Università degli Studi di Padova, 7 Giugno 2011*

### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- 1.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T.M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, A. Cester, *"Study of the Effects of UV-Exposure on Dye-Sensitized*

- Solar Cells*" 2013 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2013, Monterey, CA, USA April 14th -18th, 2013.
- 2.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, and A. Cester. "*Reliability Study of Dye-Sensitized Solar Cells by means of Solar Simulator and White LED*" 23st European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2012, Cagliari, Italy, October 1-5, 2012.
  - 3.27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Conference 24<sup>th</sup> – 28<sup>th</sup> September 2012.
  - 4.D. Bari, A. Cester, N. Wrachien, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, "*Study of the Effects of UV-Exposure on Dye-Sensitized Solar Cells*" 2012 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference - NSREC 2012, Miami, FL, USA, July 16-20, 2012
  - 5.N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval "*Organic Thin Film Transistor Degradation Under Sunlight Exposure*" 2012 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2012, Anaheim, CA, USA April 15-19, 2012
  - 6.D. Bari, N. Wrachien, A. Cester, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, S. Penna, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo "*Thermal Stress Effects on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs)*" 22nd European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2011, Bordeaux - France, October 3rd-7th, 2011
  - 7.N. Wrachien, A Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval "*Near-UV Irradiation Effects on Pentacene Based Organic Thin Film Transistors*" 48th IEEE - Nuclear and Space radiation Effects Conference - NSREC 2011, Las Vegas, NV, USA July 25-29, 2011
  - 8.D. Bari, N. Wrachien, A. Cester, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, S. Penna, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo "*Optical Stress and Reliability Study of Ruthenium-based Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)*" 2011 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2011, Monterey, CA, USA April 10-14, 2011

### Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- Didattica di supporto per il corso di elettronica organica e molecolare A.A 2011-2012
- Esperienze di laboratorio (DSC e OLED) per il corso di elettronica organica e molecolare A.A 2010-2011

### Permanenza all'estero

- Periodo di mobilità presso la University of California at Santa Cruz, Physics Dept., 21 Agosto 2013 – 3 Marzo 2014. Titolo del progetto: “*Reliability of a Wavelength Selective Energy Producing Greenhouse*”.

## **Parte 2 Ricerca**

Dye-sensitized solar cells (DSC) hanno recentemente dimostrato di essere un'alternativa a basso costo al fotovoltaico inorganico e in futuro non lontano potrebbero detenere una quota di mercato notevole. Tuttavia, i problemi di affidabilità devono essere risolti per migliorare la competitività di questa nuova tecnologia. La presente tesi tratta la caratterizzazione e lo studio affidabilità di DSC al fine di avere un quadro completo circa l'efficienza, la stabilità e i meccanismi di degradazione nelle DSC, al fine di promuovere questi dispositivi come un nuova fonte di energia rispettando inoltre le normative della Comunità Europea.

Da quando Michael Grätzel nel 1991 avanzò il concetto di materiali sensibilizzati e semiconduttori nanoporosi, dye-sensitized solar cells hanno attirato l'interesse di molti ricercatori universitari e di aziende operanti nel fotovoltaico, aprendo così la strada al fotovoltaico di terza generazione. Risultati notevoli nella sintesi di cromofori sempre più pancromatici e nella fabbricazione di semiconduttori ad ampio band-gap, consentono a fisici, chimici ed ingegneri di produrre DSC sempre più efficienti e affidabili. Al momento di questa tesi, l'efficienza delle DSC ha raggiunto il 13.4% il che consente loro di competere con i sistemi fotovoltaici inorganici convenzionali in termini di costi di produzione e complessità materiale, in particolar modo in quelle applicazioni in cui il rapporto efficienza costi di produzione deve essere massimizzato. Ci sono diverse applicazioni in cui le prestazioni di queste celle solari foto-elettrochimiche sono già sufficienti: applicazioni outdoor, come le finestre degli edifici e la copertura delle serre; applicazioni indoor come finestre, strutture di decorazione, e le vetrate dei negozi. Nonostante i vantaggi, molti problemi tecnologici e di affidabilità devono ancora essere risolti. Alcune delle problematiche sono: stabilità delle caratteristiche elettriche, incapsulamento, effetti dei fattori ambientali (ad esempio l'esposizione ai raggi UV per applicazioni esterne), l'umidità, la temperatura elevata, l'incremento del lifetime. Un'intensa attività di ricerca è portata avanti da ricercatori di tutto il mondo per capire

l'affidabilità e le cause di instabilità delle DSC: questi sforzi coinvolgono lo studio di molti aspetti fisici e chimici compresi gli effetti nell'uso di diversi materiali, strutture, morfologie, coloranti, elettroliti, contro-elettrodi, fabbricazione in condizioni e presenza di ossigeno e di umidità.

I metodi di caratterizzazione utilizzati per caratterizzare celle solari silicon-based non possono essere utilizzati "as is" per le DSC senza considerare la diversa natura delle DSC rispetto alle celle silicon-based. Partendo dalla conoscenza nella caratterizzazione di celle solari silicon-based e da un background in elettrochimica, abbiamo attentamente trasposto i metodi di caratterizzazione alle DSC. L'accesso a tutti i dettagli tecnologici delle DSC sono disponibili grazie alla collaborazione con l'Università di Roma "Tor Vergata". Abbiamo sviluppato una procedura di misura che permette di definire gli standard per la caratterizzazione di dye-sensitized solar cells. Questa procedura si basa su misure DC e spettroscopia di impedenza (EIS), dove quest'ultima tecnica proviene dall'elettrochimica. Questa tecnica permette di caratterizzare le interfacce presenti nelle DSC e di identificare quali interfacce stanno degradando durante gli stress accelerati. Questo set di misure fornisce una descrizione completa delle celle e del loro comportamento durante gli stress accelerati.

La caratterizzazione e lo studio di affidabilità viene eseguita illuminando le celle con un simulatore solare AM 1.5, dove il suo spettro si estende dagli UV sino al lontano IR. Come fonte di illuminazione alternativa, abbiamo progettato una sorgente di luce monocromatica basata su LED per illuminare le celle solari durante la caratterizzazione. Abbiamo progettato l'illuminatore nonché la circuiteria di pilotaggio. Abbiamo scoperto che queste sorgenti monocromatiche eccitano una porzione diversa dello spettro di assorbimento delle celle: in particolare, la porzione dello spettro eccitata è funzione della lunghezza d'onda della sorgente di illuminazione. Ciò permette di avere ulteriori informazioni sull'efficienza e sulla degradazione delle DSC. Inoltre, durante gli aging test, abbiamo notato che la cinetica di degradazione della tensione di circuito aperto, della corrente di corto circuito, dell'efficienza, e del fill factor, cambia se la caratterizzazione viene eseguita con diverse lunghezze d'onda della sorgente di illuminazione. Questo fatto sottolinea che la caratterizzazione effettuata con luce monocromatica potrebbe dare ulteriori informazioni sul meccanismo di degradazione che causa il degrado delle DSC.

Per avere un quadro sull'affidabilità delle DSC, abbiamo effettuato molti ageing test, con altrettante fonti di illuminazione o in generale di stress. Tutte queste prove sono state effettuate indoor. Abbiamo studiato il degrado delle celle sottoposte a stress accelerati con diverse condizioni di illuminazione e il ruolo della temperatura nel degrado delle celle. Questo studio è stato possibile effettuando stress accelerati per mezzo di: simulatore solare AM1.5, camere climatiche, illuminatore a LED bianco, illuminatore UV, e driver in corrente per gli constant current stress (CCS).

Poiché le DSC si scaldano durante l'esposizione alla luce solare e quindi la loro temperatura interna aumenta, abbiamo cercato di capire il ruolo della temperatura nella degradazione delle DSC. Abbiamo dimostrato che la sola temperatura può incidere

fortemente sul tasso di degradazione delle DSC riducendo le prestazioni complessive delle celle; inoltre, abbiamo dimostrato che la temperatura ha un duplice impatto sulle prestazioni delle celle. Una temperatura moderata induce un processo di annealing: migliora le prestazioni del colorante probabilmente ristabilendo alcuni legami liberi o deboli all'interfaccia semiconduttore trasparente/colorante o tra le molecole di colorante. D'altra parte, a temperature elevate o per tempi più lunghi di stress, indipendentemente dal livello di temperatura, la temperatura riduce fortemente le prestazioni DSC nonché il lifetime.

Per capire gli effetti indotti da esposizione alla luce solare, abbiamo effettuato stress ottici accelerati per mezzo di un simulatore solare AM 1.5. Inoltre, abbiamo confrontato la cinetica di degradazione dei parametri DC misurati durante gli stress ottici e termici. Il responsabile della degradazione durante lo stress termico o ottico è la formazione di difetti e di specie chimiche all'interfaccia tra il semiconduttore trasparente/dye/elettrolita i quali riducono la capacità di trasferimento di carica all'interfaccia e la migrazione degli ioni attraverso l'elettrolita. Durante gli stress ottici, abbiamo osservato una chiara differenza tra la cinetica di degradazione della tensione di circuito aperto e la cinetica di degradazione della corrente di corto circuito: quest'ultimo solitamente presenta una fase di inversione di tendenza durante gli stress ottici. La fase di inversione di tendenza è fortemente dipendente dalla intensità di illuminazione utilizzata durante lo stress accelerato: maggiore è il livello di illuminazione, minore è la durata della fase di inversione di tendenza. La degradazione della cella è più veloce con livelli di illuminazione più elevati probabilmente dovuta all'aumento della temperatura di interfaccia, come confermato anche dagli stress termici puri.

L'elevato rapporto efficienza-peso consente alle DSC di poter essere utilizzate come fonte di energia in applicazioni spaziali. Per indagare gli effetti di fotoni ad alta energia (presenti anche a livello del suolo) sulle DSC, abbiamo effettuato stress accelerati utilizzando una fonte di illuminazione UV. Abbiamo progettato e assemblato un illuminatore a raggi UV, così come il circuito di pilotaggio. Abbiamo scoperto che l'esposizione ai raggi UV ha effetti negativi su DSC e il principale responsabile della degradazione delle celle durante l'esposizione ai raggi UV è il bleaching dell'elettrolita (scolorimento dell'elettrolita). Vale la pena notare che il dye sembra avere un ruolo secondario nella degradazione della cella come è stato dimostrato. Per quanto riguarda le DSC studiate in questa tesi, si consiglia di adottare alcune soluzioni per evitare il bleaching dell'elettrolita. Il filtraggio UV e un buon incapsulamento potrebbero portare benefici per un funzionamento affidabile nel tempo, anche se potenzialmente vanno contro il peso contenuto e la naturale trasparenza delle DSC.

Alta efficienza anche a basse intensità di illuminazione o con luce diffusa permette alle DSC di essere prese in considerazione per applicazioni indoor. Abbiamo effettuato ageing test tramite LED bianchi ad alta potenza e abbiamo confrontato la cinetica di degradazione dei parametri DC così come l'evoluzione dell'impedenza (EIS). Queste caratteristiche sono state misurate illuminando le celle sia con simulatore solare AM 1.5 che con un illuminatore a LED bianchi. Congiuntamente allo studio di affidabilità, abbiamo proposto un sistema di illuminazione basato su LED bianchi come un'alternativa

economica e versatile ai costosi simulatori solari AM 1.5. Abbiamo progettato l'illuminatore basato su LED bianchi così come il suo circuito di pilotaggio. Dai risultati raccolti durante gli stress, abbiamo scoperto che l'esposizione alla luce bianca porta al degrado delle prestazioni delle DSC. Anche se lo spettro bianco non ha componente UV, le molecole del dye non sono più in grado di assorbire lunghezze d'onda nella regione UV. Confrontando le caratteristiche (DC ed EIS) misurate con il simulatore solare a LED bianchi e con il simulatore solare AM 1.5, abbiamo mostrato e provato che quest'ultimo fornisce più informazioni rispetto al primo.

Dal punto di vista pannello solare, alcune DSC potrebbero incorrere in guasti o essere ombreggiate durante l'esposizione solare. Tale situazione potrebbe verificarsi nel caso in cui una cella/stringa di un pannello solare non sia funzionante oppure sia in ombra e non siano state adottate soluzioni atte a prevenirne una condizione operativa non convenzionale (ovvero non sono presenti diodi di by-pass o blocking diode). Per esaminare questa condizione reale non banale, abbiamo progettato e assemblato diversi driver di corrente e abbiamo eseguito molti constant current stress (CCS). I CCS eseguiti sono di due tipi: positive CCS e negative CCS. Il primo prevede di polarizzare la cella in modo tale che la corrente scorra nello stesso verso che scorre quando esposta a luce solare, cioè in condizione standard di funzionamento; negative CCS, prevede di polarizzare la cella nel senso opposto al positive CCS. Durante gli stress le DSC vengono mantenute al buio, per evitare effetti dovuti all'illuminazione. Dai dati raccolti durante i due tipi di CCS, si è potuto evincere che entrambe portano ad una degradazione delle performance della cella e che all'aumentare del modulo della corrente di stress diminuisce il tempo di vita della DSC. Osservando le caratteristiche DC delle celle stressate, positive e negative CCS degradano le DSC in maniera diversa: i primi portano ad un degrado lento e costante della cella, i secondi, apparentemente non degradano le celle in maniera significativa all'inizio dello stress, ma ne causano un'improvvisa e rapida degradazione (sudden failure) dopo diverse ore. L'istante in cui si verifica il sudden failure della DSC è funzione dell'intensità della corrente di stress. Abbiamo mostrato che durante i positive CCS, la composizione elettrolita cambia, abbassando la dark current della cella solare, mentre i negative CCS portano alla degradazione del contro-elettrodo, accelerandone la corrosione da parte dell'elettrolita. Inoltre, abbiamo dimostrato che la maggior parte della degradazione avviene alle interfacce in cui gli elettroni sono emessi durante lo stress. I risultati ottenuti, dimostrano che i CCS hanno effetti irreversibili sulle prestazioni elettriche delle DSC e che alcune soluzioni circuitali devono essere adottate allo scopo di prevenire inopportune condizioni di funzionamento delle celle.

### Titolo definitivo della tesi

*“Characterization and Reliability of Dye-sensitized Solar Cells: Temperature, Illumination, and Bias Effects”*

Nome del supervisore: Andrea Cester

### Parte 3 Pubblicazioni

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

1. D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T.M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, A. Cester, "*Comparison between positive and negative constant current stress on dye-sensitized solar cells*", *Microelectronics Reliability*, Volume 53, Issues 9–11, September–November 2013, Pages 1804-1808
2. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, R. Capelli, R. D'Alpaos, M. Muccini, A. Stefani, G. Turatti, G. Meneghesso, "*Effects of constant voltage stress on p- and n-type organic thin film transistors with poly(methyl methacrylate) gate dielectric*", *Microelectronics Reliability*, Volume 53, Issues 9–11, September–November 2013, Pages 1798-1803
3. D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, and A. Cester. "*Reliability study of dye-sensitized solar cells by means of solar simulator and white LED*" *Microelectronics Reliability*, Vol. 52, Issue 9-10, pp. 2495-2499, Sept-Oct. 2012
4. N. Wrachien, D. Bari, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval, G. Meneghesso, and A. Cester. "*Enhanced permanent degradation of organic TFT under electrical stress and visible light exposure*" *Microelectronics Reliability*, Vol. 52, Issue 9-10, pp. 2490-2494, Sept-Oct. 2012
5. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval, G. Meneghesso "*Visible Light and Low-Energy UV Effects on Organic Thin-Film Transistors*", *IEEE Transaction on Electron Devices*, Vol. 59, Issue 5, pp. 1501-1509, May 2012
6. D. Bari, A. Cester, N. Wrachien, G. Meneghesso, L. Ciammaruchi, Thomas M. Brown, Andrea Reale, A. Reale, Aldo Di Carlo "*Reliability Study of Ruthenium-based Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs)*" *IEEE - Journal of Photovoltaics*, Vol. 2, Issue. 1, p. 27-34, Jan. 2012
7. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval "*Near-UV Irradiation Effects on Pentacene Based Organic Thin Film Transistors*"

IEEE - Transaction on Nuclear Science, Vol. 58, Issue 6, pp. 2911-2917, Dec 2011  
8.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, S. Penna, T.M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, A. Cester "*Thermal stress effects on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs)*" Microelectronics Reliability, Vol 51, Issues 9-11, Pages 1762-1766, September-November 2011

### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- 1.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T.M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, A. Cester, "*Comparison between positive and negative constant current stress on dye-sensitized solar cells*", 24th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2013, Arcachon, France, September 30th – October 4th 2013
- 2.N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, R. Capelli, R. D'Alpaos, M. Muccini, A. Stefani, G. Turatti, G. Meneghesso, "*Effects of constant voltage stress on p- and n-type organic thin film transistors with poly(methyl methacrylate) gate dielectric*" 24th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2013, Arcachon, France, September 30th – October 4th 2013
- 3.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T.M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, A. Cester, "*Study of the Effects of UV-Exposure on Dye-Sensitized Solar Cells*" 2013 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2013, Monterey, CA, USA April 14th -18th, 2013
- 4.N. Wrachien, D. Bari, J. Kovac, J. Jakabovic, Martin Weis, D. Donoval, G. Meneghesso, and A. Cester, "*Effects of Positive and Negative Constant Voltage Stress on Organic TFTs*" 2013 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2013, Monterey, CA, USA April 14th -18th, 2013
- 5.N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, Y.Q. Wu and P.D. Ye "*Comparison between uniform and CHC stress on III-V MOSFETs*", 21st European Workshop on Heterostructure Technology - HETECH 2012, 5-7 November 2012, Barcelona, Spain
- 6.D. Bari, N. Wrachien, R. Tagliaferro, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, G. Meneghesso, and A. Cester. "*Reliability Study of Dye-Sensitized Solar Cells by means of Solar Simulator and White LED*" 23st European Symposium on

- Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2012, Cagliari, Italy, October 1-5, 2012
7. N. Wrachien, D. Bari, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval, G. Meneghesso, and A. Cester "*Enhanced Permanent Degradation of Organic TFT under electrical stress and visible light exposure*" 23st European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2012, Cagliari, Italy, October 1-5, 2012
  8. D. Bari, A. Cester, N. Wrachien, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, "*Study of the Effects of UV-Exposure on Dye-Sensitized Solar Cells*" 2012 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference - NSREC 2012, Miami, FL, USA, July 16-20, 2012
  9. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic and D. Donoval "*Improved Tolerance against UV and Alpha Irradiation of Encapsulated Organic TFTs*" 2012 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference - NSREC 2012, Miami, FL, USA, July 16-20, 2012
  10. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval, G. Meneghesso "*Visible Light and Low-Energy UV Effects on Organic Thin-Film Transistors*" IEEE Transaction on Electron Devices, Vol. 59, Issue 5, pp. 1501-1509, May 2012
  11. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval "*Organic Thin Film Transistor Degradation Under Sunlight Exposure*" 2012 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2012, Anaheim, CA, USA April 15-19, 2012
  12. A. Cester, D. Bari, N. Wrachien, G. Meneghesso, "*Study of the effect of stress-induced trap levels on OLED characteristics by numerical model*" 2012 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2012, Anaheim, CA, USA April 15-19, 2012
  13. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, E. Zanoni, G. Meneghesso, Y.Q. Wu and P.D. Ye "*Effects of Channel Hot Carrier Stress on III-V Bulk Planar MOSFETs*", 2012 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2012, , Anaheim, CA, USA April 15-19, 2012

14. D. Bari, N. Wrachien, A. Cester, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, S. Penna, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo "*Thermal Stress Effects on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs)*" 22nd European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis - ESREF 2011, Bordeaux - France, October 3rd-7th, 2011
15. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, D. Donoval "*Near-UV Irradiation Effects on Pentacene Based Organic Thin Film Transistors*" 48th IEEE - Nuclear and Space radiation Effects Conference - NSREC 2011, Las Vegas, NV, USA July 25-29, 2011
16. D. Bari, N. Wrachien, A. Cester, G. Meneghesso, R. Tagliaferro, S. Penna, T. M. Brown, A. Reale, A. Di Carlo "*Optical Stress and Reliability Study of Ruthenium-based Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)*" 2011 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2011, Monterey, CA, USA April 10-14, 2011
17. N. Wrachien, A. Cester, D. Bari, G. Meneghesso, J. Kovac, J. Jakabovic, M. Sokolsky, D. Donoval, J. Cirak "*Low-Energy UV Effects on Organic Thin-Film-Transistors*" 2011 IEEE International Reliability Physics Symposium - IRPS 2011, Monterey, CA, USA April 10-14, 2011

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **BARI Daniele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti. **Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **CANALE Matteo** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **CANALE Matteo** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Titolo borsa a tema vincolato: *Architetture per comunicazioni e crittografia quantistiche*

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **Parte 1 – Didattica**

---

#### Corsi seguiti

Corsi offerti dalla Scuola di Dottorato:

- *Game Theory for Information Engineering* (Prof. Leonardo Badia).
- *Harnessing Randomness in Information Theory* (Prof. Mathieu Bloch).
- *Introduction to Quantum Optics I* (Prof. Alexander Sergienko).
- *Statistical Methods* (Prof. Finesso).
- *Applied Linear Algebra* (Proff. Wimmer e Damm).
- *Information-theoretic methods in security* (Prof. Nicola Laurenti)

Altri corsi:

- *Multiantenna transmissions: theoretical bounds and applications in LTE and LTE-adv systems.*  
Dr. F. Boccardi, Alcatel-Lucent Labs.  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.  
Giugno 2011.
- *Network Security.*  
Prof. Nicola Laurenti, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.  
Marzo-Giugno 2013.
- *Computer Security.*  
Prof. Mauro Conti, Dipartimento di Matematica, UniPD.  
Marzo-Giugno 2013.
- *Sharing Sensitive Information with Privacy: Cryptographic Protocols and Applications.*  
Prof. Gene Tsudik, University of California, Irvine, USA.  
Giugno 2013.

#### Partecipazione a scuole per dottorandi

- *3<sup>rd</sup> ID Quantique Winter School on Practical Quantum Key Distribution.*  
Les Diablerets, Svizzera. 16-21 Gennaio 2011.
- *SSIE - Scuola Estiva in Ingegneria dell'Informazione.*  
Bressanone, Italia. 4-8 Luglio 2011.
- *4<sup>th</sup> ID Quantique Winter School on Practical Quantum Key Distribution.*  
Les Diablerets, Svizzera. 23-27 Gennaio 2012.
  
- *QSnow 2013, Winter School on Quantum Communications.*  
Asiago, Italia. Gennaio 2013

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- *Physical-Layer Security.*  
Speaker: M. Bloch, Professor at Georgia Institute of Technology.  
Data e luogo: 17 Febbraio 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Mechanisms of Physical-Layer Security.*  
Speaker: M. Bloch, Professor at Georgia Institute of Technology.  
Data e luogo: 3 Marzo 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Design and Analysis of Random Access Networks with Interference Alignment.*  
Speaker: F. Rossetto,  
Data e luogo: 7 Marzo 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *The value of space in wireless networks.*  
Speaker: M. Franceschetti  
Data e luogo: 21 Marzo 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Può l'informazione modificare il cervello?*  
Speaker: L. Maffei.  
Data e luogo: 5 Maggio 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *My life in Silicon Valley.*  
Speaker: F. Faggin.  
Data e luogo: 7 Giugno 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *IEEE Xplore – Training.*  
Speaker: E. Sloan.  
Data e luogo: 27 Ottobre 2011, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Quantum Snow.*  
Data e luogo: 20-23 febbraio 2011, Osservatorio di Asiago, Vicenza.
- *BunnyTN3 Workshop.*  
12 Marzo 2012, Università di Trento, Italia.

- *Context Profiling in Mobile Devices.*  
Speaker: N. Asokan.  
Data e luogo: 5 Luglio 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Social networks - models, methods and analysis.*  
Speaker: P. Raghavan.  
Data e luogo: 10 Settembre 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Android SSL Considered Harmful.*  
Speaker:., Dipartimento di Matematica, UniPD.  
23 Gennaio 2013.
- *Cache Pollution Attacks and Detection in Named Data Networking.*  
Speaker: Marco Teoli, Dipartimento di Matematica, UniPD.  
Data e luogo: 30 Gennaio 2013, Dipartimento di Matematica, UniPD.
- *Online Reputation Systems: Methods, Applications and Challenges.*  
Speaker: Prof. Audun Josang, University of Oslo.  
Data e luogo: 21 Marzo 2013, Dipartimento di Matematica, UniPD.
- *Touchalytics and Role Mining.*  
Speaker: Dr. Mario Frank, University of California, Berkeley.  
Data e luogo: 20 Maggio 2013, Dipartimento di Matematica, UniPD.
- *Fundamental limits in compressive sensing of GMM sources.*  
Speaker: Dr. Francesco Renna, Universidade do Porto/University College London.  
Data e luogo: 6 Settembre 2013, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.
- *Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus.*  
Speaker: Giulia Cisotto, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.  
Data e luogo: 10 Settembre 2013, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, UniPD.

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- *Workshop QKD nello spazio.* 31 Marzo 2011, Sede C4 Difesa, Roma.
- *SecureComm 2012,* 4 Settembre 2012. Padova.
- *5th Italian Quantum Information Science Conference.* 26-28 Settembre 2012. Padova.

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- *Qcrypt 2011 Conference.*  
ETH, Zurich. Settembre 2011.

#### Partecipazione ad eventi legati all'attività di ricerca

- ✦ *Notte della ricerca 2011.*  
23 Settembre 2011. Palazzo del Bo, Padova
- ✦ *Dimostrazione pubblica di un sistema di crittografia quantistica free-space.*  
3-4 Ottobre 2011. Palazzo della Ragione, Padova.
- ✦ *Notte della ricerca 2012.*  
28 Settembre 2012. Palazzo del Bo, Padova.
- ✦ *Security Summit 2012.*  
4 Ottobre 2012. Verona, Italia.
- ✦ *Security Summit 2013.*  
14 Marzo 2013. Milano, Italia.
- ✦ *Progetto FiXo S&U.*  
Orientamento per dottorandi e dottori di ricerca organizzato dall'Università di Padova.  
Maggio-Dicembre 2013. Padova, Italia.
- ✦ *Workshop finale progetto QuantumFuture.*  
18-19 Ottobre 2013. Centro San Gaetano, Padova.

#### Presentazioni dell'attività di ricerca a seminari

- ✦ *An introduction to Quantum Key Distribution.*  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (UniPD).  
20 Aprile 2010. Padova, Italia.
- ✦ *Physical-Layer Security: coalitional games for distributed cooperation.*  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (UniPD).  
13 Maggio 2011. Padova, Italia.
- ✦ *Practical schemes for Secret Key Agreement as applied to Quantum Key Distribution.*  
SSIE2011, Scuola di dottorato in Ingegneria dell'Informazione.  
5 Luglio 2011. Bressanone, Italia.
- ✦ *Error Correction for QKD.*  
4<sup>th</sup> ID Quantique Winter School on Practical Quantum Key Distribution.  
23 Gennaio 2012. Les Diablerets, Svizzera.
- ✦ *An introduction to randomness extraction.*  
GAP Optique Meeting, University of Geneva.  
3 Marzo 2012. Ginevra, Svizzera.
- ✦ *Quantum Key Distribution: how to distill unconditionally secure keys.*  
BunnyTN3 Workshop, Università di Trento.  
12 Marzo 2012. Trento, Italia.
- ✦ *Experimental Quantum Key Distribution in different channel conditions based on finite key security analysis.*  
5 Ottobre 2012. Laboratori Luxor (CNR-UniPD).
- ✦ *Post-processing algorithms and tools for experimental quantum key distribution based on finite-key analysis.*  
23 Novembre 2012. Laboratori Luxor (CNR-UniPD).

- ✦ *Information security based on quantum physics and information theory.*  
30 Aprile 2013. Dipartimento di Matematica (UniPD)
- ✦ *Debate on the security of QKD.*  
12 Giugno 2013. Laboratori Luxor (CNR-UniPD).

#### Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- ✦ Laboratorio del corso di *Network Security* tenuto dal Prof. Nicola Laurenti.
- ✦ Correlatore per la tesi della laurea magistrale Ilaria Savorgnan, “*Exploiting turbulence to increase quantum key distribution feasibility over free-space channels*”.
- ✦ Assistente del prof. Laurenti nel seguire i tesisti Simon Calimani e Davide Girardi.

#### Permanenza all'estero/Stage:

- Gennaio 2012 – Giugno 2012 presso ID Quantique SA, Ginevra, Svizzera.

## **Parte 2 – Ricerca**

---

### Descrizione dell'attività di ricerca

L'attività di ricerca svolta durante i tre anni di dottorato si è concentrata principalmente su due tematiche: quella della *Quantum Key Distribution (QKD)*, trasversale all'intero dottorato, e quella della *randomness extraction* per *Quantum Random Number Generators (QRNGs)*, iniziata al secondo anno con il periodo di mobilità presso ID Quantique. Le due attività sono strettamente legate tra di loro, trovando gli algoritmi di randomness extraction applicazione diretta nella fase della QKD nota come *privacy amplification*.

A partire dal primo anno, il focus principale dell'attività di ricerca sono stati gli algoritmi di processing classici necessari per distillare una chiave segreta condivisa in un sistema di QKD. In particolare, sono stati studiati gli algoritmi di *information reconciliation*, *privacy amplification* e, collateralmente, di *autenticazione dei messaggi*.

Dopo un'attenta analisi e valutazione delle performance di tali algoritmi ([N1] e [R1,R2]), è stato sviluppato in Matlab un complesso software modulare che implementa alcune soluzioni che sono state individuate come particolarmente adatte all'utilizzo nel contesto della QKD; in particolare, sono stati scelti i protocolli *Cascade* e *Winnow* per la parte di information reconciliation, ed un protocollo efficiente di privacy amplification che sfrutta una specifica classe di *2-universal hash functions*, ovvero le matrici di Toeplitz.

Il software sviluppato, in grado di gestire in real-time sia il processing che la comunicazione sul canale classico, ha permesso, in collaborazione con il gruppo di ottica guidato dal Prof. Villoresi, di realizzare un sistema sperimentale di QKD free-space in

grado di produrre chiavi crittografiche con sicurezza di tipo information-theoretic in un contesto realistico. I risultati ottenuti sono stati presentati in [C2], [C3] e [C4].

Parallelamente, è stato sviluppato un framework teorico generale per il design di matrici ottime per privacy amplification. Il risultato ottenuto, presentato in [C1], mostra come matrici di Toeplitz binarie e perfettamente casuali garantiscano il rispetto dei bound sull'information leakage, pur consentendo una rappresentazione molto compatta ed un'implementazione estremamente efficiente basata su FFT.

La prima metà del secondo anno è stata invece spesa presso ID Quantique, grazie ad un periodo di mobilità di 6 mesi. Durante questo periodo, sono state studiate ed analizzate delle soluzioni per *randomness extraction*, ovvero su algoritmi che, a partire da una sequenza di bit con delle buone proprietà di casualità, ma con dei vizi in termini di bias o correlazione, permettono di estrarre una sequenza di bit più corta ma con ottime proprietà statistiche, sfruttando la teoria dell'informazione. Lo studio di tali algoritmi è stato contestualizzato al loro utilizzo per il post-processing del flusso di bit prodotto da un QRNG e, in particolare, dal generatore prodotto da ID Quantique, il Quantis (<http://www.idquantique.com/true-random-number-generator/products-overview.html>).

Dopo un'attenta analisi delle problematiche specifiche del generatore Quantis e delle soluzioni proposte in letteratura [R3,R4], è stata sviluppata una nuova libreria di funzioni per il software di Quantis, in grado di offrire una soluzione efficiente al problema della randomness extraction. Nel design e nell'implementazione del software, si è posto l'accento sull'efficienza computazionale (avendo essa un impatto determinante sulla riduzione del bit-rate di generazione di bit casuali) e sulla sicurezza (validazione degli input e prevenzione di attacchi su *side channels*; in particolare per applicazioni crittografiche, infatti, è fondamentale garantire che un avversario non possa alterare la distribuzione dei dati prodotti dal dispositivo).

Inoltre, durante tutto il percorso di studio e sviluppo, è stata fatta un'accurata analisi dei risultati, in termini di proprietà statistiche, validazione dei parametri scelti, parallelamente alla misura delle prestazioni; è in preparazione un articolo sul lavoro svolto [P2], comprendente sia il framework teorico che una attenta validazione dei risultati ottenuti.

A partire dalla seconda metà del secondo anno, sono state avviate due nuove attività nel campo della QKD.

La prima, che ha portato alla pubblicazione di [J1], si è concentrata sull'analisi finite-key sperimentale di un protocollo di QKD. Lo studio, condotto assieme ai proff. Villoresi, Vallone, Laurenti, si è proposto di indagare la fattibilità del processo di QKD in contesti realistici, sia in termini di errori introdotti dal canale, sia in termini di limitata lunghezza delle sequenze di qubit trasmessi sul canale quantistico. Tale analisi è orientata allo sviluppo di sistemi di crittografia quantistica satellitare, i quali, per loro stessa natura, sono soggetti a vincoli molto stringenti. In particolare, le finestre temporali in cui è possibile stabilire una connessione sono limitate, ed inoltre le elevate perdite accentuano l'effetto del rumore di fondo complessivo sulla bit error rate della trasmissione. Grazie all'attività di ricerca svolta, si è potuto dimostrare che con un sistema sperimentale di QKD, completo di algoritmi per il processing classico dell'informazione, è possibile creare una chiave sicura, condivisa tra trasmettitore e ricevitore, anche in situazioni di

alto bit error rate e limitata lunghezza della chiave.

La seconda attività è stata invece incentrata sull'analisi della correlazione tra turbolenza atmosferica e secret key rate. Nell'ottica di sviluppare un sistema di quantum key distribution satellitare, infatti, è di fondamentale importanza considerare l'impatto di perdite e rumore sul rate di chiave sicura ottenibile. Infatti, su link a grande distanza come quelli satellite-satellite e quelli terra-satellite, l'azione congiunta di questi due fattori può rapidamente arrivare a precludere la possibilità di creare una chiave. Con questo problema in mente, si è quindi pensato di sfruttare un'informazione aggiuntiva, quella sulla turbolenza del canale, per effettuare una post-selection degli istanti di trasmissione in cui il guadagno del canale è più elevato. In principio, infatti, se esistesse una correlazione tra turbolenza del canale e bit error rate, sarebbe possibile restringere il processo di creazione della chiave ai soli pacchetti in cui il bit error rate è sotto la soglia critica dell'11% (ovvero il limite teorico del bit error rate sopra il quale non è possibile creare una chiave).

Partendo da un set di dati raccolti durante un esperimento tenutosi nel Giugno 2012 tra le isole di Santa Cruz de La Palma e Tenerife, utilizzando rispettivamente i telescopi JKT e OGS, abbiamo verificato che la correlazione menzionata esiste e che quindi l'informazione sulla turbolenza può effettivamente ed efficacemente essere utilizzata per permettere l'estrazione di chiave sicura anche in casi in cui non sarebbe altrimenti possibile. Un articolo su questi risultati è attualmente in preparazione [P1].

Infine, è stata svolta un'attività di ricerca sperimentale specificatamente dedicata alla valutazione della fattibilità della QKD satellitare. All'interno di un progetto in collaborazione con Thales-Alenia Spazio finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), sotto la supervisione dei proff. Villoresi, Vallone e Laurenti, si è infatti lavorato a design, ottimizzazione ed implementazione di algoritmi classici di post-processing per un sistema di quantum key distribution che si pone l'obiettivo di simulare un link satellitare per mezzo di attenuazioni variabili del canale e limitati intervalli di trasmissione. I primi test in laboratorio hanno verificato la flessibilità del sistema in condizioni di variabilità del canale. La dimostrazione finale, da realizzarsi interamente con canale ottico (sia per la parte quantistica che per quella classica), prevede la creazione di un link outdoor e free-space di circa 400 metri, da realizzare presso lo stabilimento di Torino di Thales-Alenia Spazio. Per ritardi e problematiche interne a Thales-Alenia, non è ancora stato possibile effettuare l'esperimento, che speriamo però di poter condurre entro la fine dell'anno.

#### Titolo definitivo della tesi

*Classical processing algorithms for Quantum Information Security.*

#### Supervisore

Nicola Laurenti.

### Parte 3 – Pubblicazioni

---

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- [J1] Davide Bacco, Matteo Canale, Nicola Laurenti, Giuseppe Vallone, Paolo Villorresi. *Experimental Quantum Key Distribution with finite-key security analysis for noisy channels*.  
Nature Communications 4, 2363 (2013) DOI:10.1038/ncomms3363.

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- J1. [C1] Matteo Canale, Francesco Renna, Nicola Laurenti.  
*QKD secrecy for privacy amplification matrices with selective individual attacks*.  
Annual conference on Quantum Cryptography, QCRYPT 201, Zurich, Switzerland.
- J2. [C2] Matteo Canale, Davide Bacco, Simon Calimani, Francesco Renna, Nicola Laurenti, Giuseppe Vallone and Paolo Villorresi.  
*Performance analysis of a low-cost, low-complexity, free-space QKD scheme based on the B92 protocol*.  
Annual conference on Quantum Cryptography, QCRYPT 2011, Zurich, Switzerland.
- J3. [C3] Canale, Matteo, Davide Bacco, Simon Calimani, Francesco Renna, Nicola Laurenti, Giuseppe Vallone, and Paolo Villorresi.  
*A Prototype of a Free-space QKD Scheme Based on the B92 Protocol*.  
In International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, ISABEL. Barcelona, 2011.
- J4. [C4] Matteo Canale, Davide Bacco, Simon Calimani, Francesco Renna, Nicola Laurenti, Giuseppe Vallone and Paolo Villorresi.  
*Experimental realization of a free-space, B92-based QKD system and its extension to long distances*.  
Nasa Quantum Future Technologies Conference 2012, Moffett Field, California.
- J5. [C5] Davide Bacco, Matteo Canale, Nicola Laurenti, Giuseppe Vallone, Paolo Villorresi. *Experimental Quantum Key Distribution with finite-key security analysis for noisy channels*.  
Annual conference on Quantum Cryptography, QCRYPT 2013, Waterloo, Canada.

#### Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

- ♣ [N1] Nicola Laurenti and Matteo Canale.  
*Protocolli di comunicazione e network layer per l'utilizzo delle chiavi crittografiche quantistiche*.  
Workshop Crittografia Quantistica per comunicazioni sicure a lunga distanza, Roma, Mar. 2011.

Lavori in preparazione

- ♣ [P1] Giuseppe Vallone, Davide Marangon, Matteo Canale , Ilaria Savorgnan, Davide Bacco, Mauro Barbieri, Simon Calimani, Cesare Barbieri, Nicola Laurenti, and Paolo Villorosi.  
*Daylight Quantum Key Distribution in Long Distance Free-Space Links by Noise Mitigation using Turbulence as a Resource.*
- ♣ [P2] Renato Renner, Matthias Troyer, Matteo Canale, Damien Stucki.  
*A randomness extractor for the Quantis device.*

Technical Reports

- [R1] Matteo Canale, Nicola Laurenti. *Analisi del protocollo di error correction Winnow.* Settembre 2010.
- [R2] Matteo Canale. *On information-theoretic secret key agreement for Quantum Key Distribution.* Gennaio 2011.
- [R3] Matteo Canale. *Impact of losses on key post-processing as applied to Quantum Key Distribution.* Gennaio 2012.
- [R4] Matteo Canale. *Randomness extraction for Quantis post-processing. ID Quantique Tech. Report (Confidential),* Febbraio 2012.
- [R5] Matteo Canale. *Investigation on Quantis Random Number Generator. ID Quantique Tech Report (Confidential),* Maggio 2012.
- [R6] Matteo Canale. *Randomness extraction as applied to a Physical Random Number Generator: a survey.* Settembre 2013.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **CANALE Matteo** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **CARUSO Michele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **CARUSO Michele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Cognome e Nome: Caruso Michele

Ciclo: XXVI Ciclo

Indirizzo: Scienza e Tecnologia dell'Informazione

Supervisore: Prof. Andrea Neviani

Titolo borsa a tema vincolato: Progetto di un radar Ultra Wide Band (UWB) per la diagnosi precoce di tumori

## Parte 1: Didattica

### Corsi seguiti

- Applied Linear Algebra, Prof. T. Wimmer and Prof. H. Damm (16 ore)
- Statistical Methods, Prof. L. Finesso (24 ore)
- Game Theory, Prof. L. Badia (20 ore)
- Bioelectromagnetism, Prof. Tullio A. Minelli (12 ore)
- Dose, Effect, Threshold, Prof. A. Trevisan (12 ore)
- Electrostatic Discharge in Integrated Circuits, Prof. G. Meneghesso (20 ore)
- Corso intensivo di inglese della durata di due settimane, svolto a San Francisco, California, USA

### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- Green Technologies Enabling Energy Saving, Scuola estiva di dottorato tenuta a Bressanone e della durata di 5 giorni

### Elenco dei seminari seguiti

- Può l'informazione modificare il cervello?, Prof. Lamberto Maffei (Scuola Normale Superiore di Pisa)
- My life in Silicon Valley, Dr. Federico Faggin (Faveon Inc.) - Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators, Giuseppe De Nicolao (Università di Pavia)
- Dalla nanotecnologia alla nanoscienza, Fabio Beltram (Normale di Pisa)
- Gene regulatory networks in cancer: a probabilistic approach, Mathukumalli Vidyasagar (University of Texas at Dallas)

- Social networks - models, methods and analysis, Prabhakar Raghavan (Google, Mountain View, CA)
- The scientific legacy of hubble space telescope, Robert Williams (Space Telescope Science Institute/Baltimore, USA)
- La scienza della conservazione per i beni culturali: il ruolo dell'information technology, Maurizio Seracini (Editech e UC San Diego)

### Partecipazione a conferenze Internazionali

- International Solid State Circuit Conference (ISSCC), Febbraio 2013, San Francisco, CA, USA
- European Solid State Circuit Conference (ESSCIRC), Settembre 2013, Bucharest, Romania

### Didattica Attiva

- Tutor junior durante il laboratorio di Circuiti Integrati per l'Elaborazione dei Segnali, Prof. Andrea Gerosa (negli anni 2011, 2012 e 2013)
- Tutor junior durante il laboratorio di Progettazione di circuiti integrati analogici, Prof. Andrea Bevilacqua (negli anni 2012 e 2013)

### Permanenza all'estero

Durante il terzo anno di dottorato è stato trascorso un periodo di 6 mesi presso In neon Technologies, nel design center di Villach, Austria. Qui è stato possibile portare avanti il design di alcuni componenti di un radar integrato in tecnologia Bipolare e BiCMOS.

## Parte 2: Ricerca

Il RADAR, acronimo per RAdio Detection And Ranging, è uno strumento che sfrutta le proprietà elettromagnetiche della materia per rilevare l'eventuale presenza e distanza di oggetti non conosciuti. L'idea di un simile dispositivo fu descritta per la prima volta da Guglielmo Marconi il quale spiegò un semplice metodo per la determinazione della posizione delle navi e per la rispettiva guida sicura in condizioni di nebbia. Solo dopo qualche anno, con l'avvicinarsi della seconda guerra mondiale, cominciò la vera e propria ricerca e sperimentazione. Ai giorni nostri, invece, il concetto di radar viene esteso ben al di fuori dell'ambito militare. Infatti è possibile trovare applicazioni che spaziano dalla mappatura del terreno alla sorveglianza delle condizioni meteorologiche e dal controllo del traffico aereo all'individuazione della velocità dei veicoli. Inoltre, l'introduzione di nuove tecnologie a larga banda (UWB) rende possibile la generazione di

immagini radar le quali possono essere sfruttate con successo sia in ambito medico che automotive. L'esistenza di un'infinità di applicazioni è legata all'estrema versatilità dei radar, ed è il motivo che mi ha spinto a focalizzare il mio lavoro sull'analisi e la progettazione di radar integrati ad alta risoluzione.

L'attività di dottorato si è suddivisa in due parti correlate ma ben distinte. Durante i primi due anni è stato studiato e progettato un radar CMOS a larga banda per la localizzazione preventiva dei tumori al seno, mentre durante l'ultimo anno sono state progettate nuove tipologie di blocchi elementari in grado di incrementare le performances dei phased array radar.

Il tumore al seno è di gran lunga la neoplasia con la maggior incidenza nella popolazione femminile.

Una prevenzione tempestiva è il concetto fondamentale per assicurare una buona percentuale di sopravvivenza. A tal proposito, sfruttando le diverse proprietà elettromagnetiche dei tessuti sani e di quelli malati, è possibile generare delle mappe della distribuzione della costante dielettrica all'interno dei tessuti. Si ottiene dunque un risultato molto simile alla più utilizzata ed usuale mammografia, pur evitando l'esposizione della paziente a raggi ionizzanti e la dolorosa compressione meccanica del seno. Detto questo, il lavoro che è stato affrontato è consistito nella progettazione di due Stepped Frequency Radar in tecnologia CMOS da 65nm capaci di rilevare tumori al seno con una risoluzione minima di 3mm. I chip, chiamati SKuRAD1 e SKuRAD2 (SKuRAD2 è la versione migliorata e completata del prototipo SKuRAD1: Fig.1), contengono un LNA, uno stadio di conversione diretta a reiezione d'immagine, un PLL che genera i segnali da trasmettere da 2 a 16GHz, uno stadio in banda base a bassissimo rumore flicker ed uno stadio di uscita con reiezione delle armoniche.

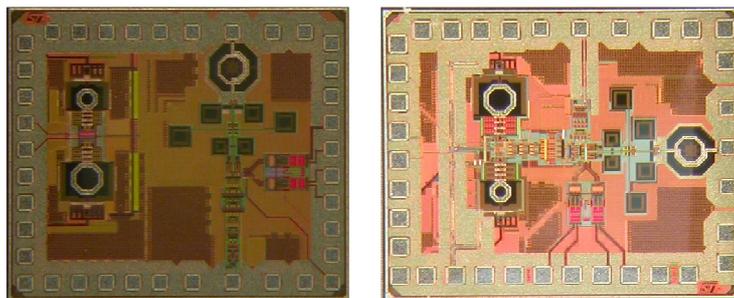


Figure 1: Fotografia di SKuRAD1 e SKuRAD2, realizzati in tecnologia CMOS da 65nm.

I sorprendenti risultati, testimoniati anche da pubblicazioni su riviste e conferenze di carattere internazionale, sono: banda di 3 ottave da 2 a 16GHz, guadagno di conversione di 36dB, phase noise di  $-129\text{dBc/Hz}@10\text{MHz}$  offset, flicker noise corner di 30Hz, range dinamico di 107dB e reiezione armonica migliore di 40dB. Il tutto con un consumo di potenza di soli 204mW con una tensione di alimentazione di 1.2V. Dopo aver caratterizzato il chip da un punto di vista

elettrico, è stato realizzato un setup di misura in grado di effettuare dei veri e propri esperimenti di imaging. Tale setup, che è possibile vedere in Fig.2, comprende un supporto mobile in alluminio, azionato da due motori passo-passo comandati da pc, in grado di assumere una qualsiasi posizione nel piano XY con una accuratezza del decimo di millimetro (tale supporto ci servirà, in fase di misura, per spostare meccanicamente il target riuscendo così ad ottenere una schiera sintetica di antenne).

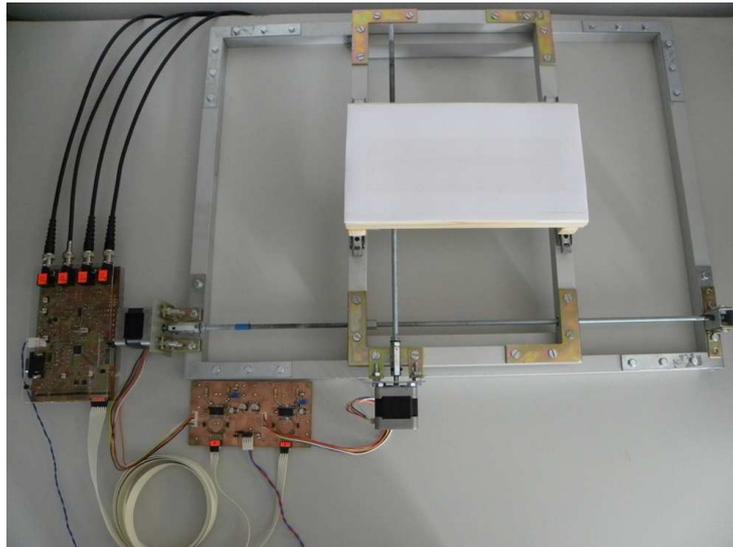


Figure 2: Fotografia dei vari componenti del setup di misura utilizzato nelle prove di imaging

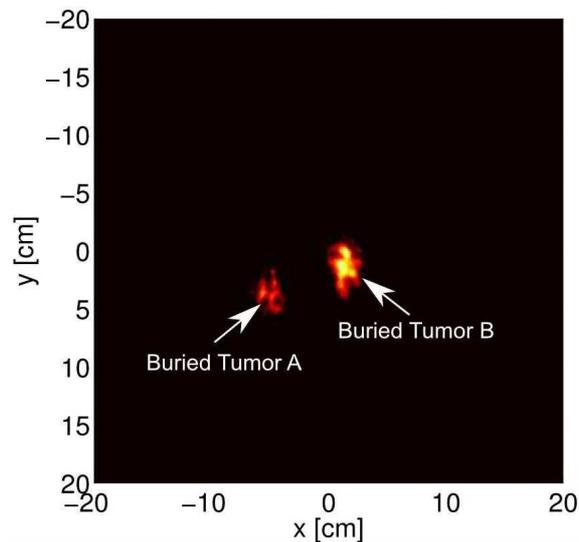


Figure 3: Tumori rilevati da SKuRAD2 durante le prove di imaging. Essi risultano avere le giuste dimensioni ed essere collocati nella giusta posizione.

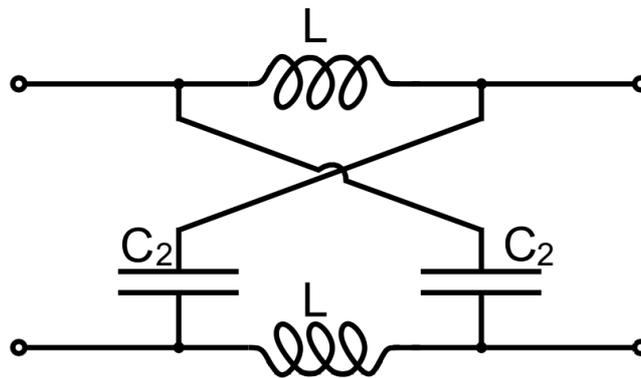


Figure 4: Cella elementare del phase shifter. I due induttori sono in realtà un trasformatore(per risparmiare area) e le capacità sono dei varactor.

Naturalmente, la gestione di tale supporto ha comportato anche la realizzazione di una scheda a micro-processore con i relativi firmware e software per PC. Inoltre, perché le misure potessero dare un'indicazione realistica, è stato realizzato un phantom avente le stesse proprietà dielettriche dei tessuti adiposi e tumorali contenuti nel seno. I risultati delle prove di imaging, visibili in Fig.3, mostrano l'effettivo funzionamento del chip nella ricerca preventiva del tumore al seno. Ciò rende SKuRAD2 il primo radar integrato mai realizzato destinato a tale applicazione.

Come già accennato, la seconda parte del lavoro effettuato durante il dottorato è consistito nella progettazione di blocchi fondamentali in grado di incrementare le performances dei phased array radar. Tale lavoro è stato portato avanti in collaborazione con Infineon Technologies Austria, dove ho trascorso 6 mesi. I blocchi fondamentali realizzati sono Phase Shifter, True Time Delay e Wilkinson Power Combiner. In tutti e tre, la caratteristica peculiare risulta essere la riduzione delle perdite e la contemporanea riduzione dell'area occupata.

Per quanto riguarda il phase shifter, è stata ideata una cella a parametri concentrati ( Fig.4) la quale presenta uno sfasamento costante al variare della frequenza in tutta la banda utile. I principali risultati della cascata di 11 celle sono un insertion loss di appena 8dB@10GHz (contro un insertion loss di circa 13dB seguendo un'architettura standard realizzata mediante linee di trasmissione), un input matching migliore di -15dB ed un errore di fase del 10% su una banda frazionaria del 90%.

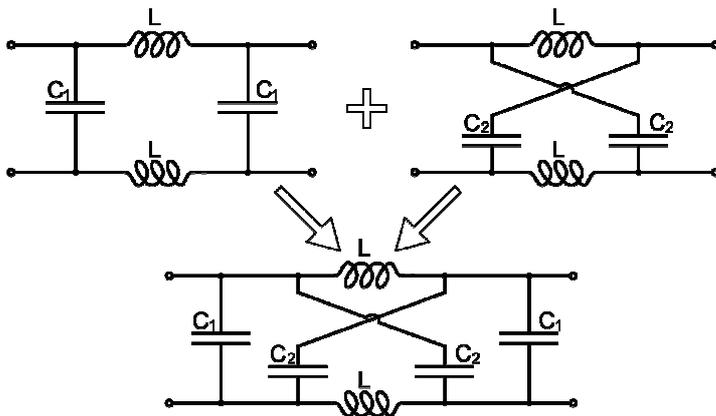


Figure 5: Cella ibrida che consente di ottenere un ritardo di gruppo costante.

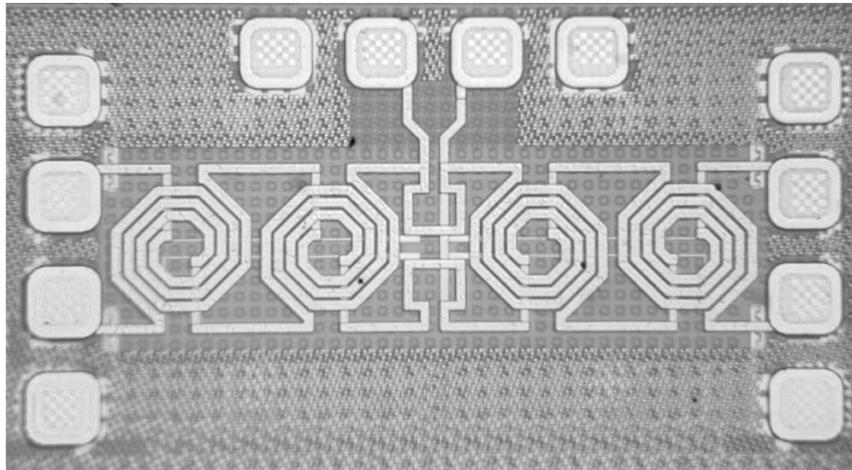


Figure 6: Fotografia del Wilkinson power combiner. Si possono facilmente notare le due sezioni  $\lambda/4$  realizzate con linee di trasmissione a parametri concentrati.

Alcune applicazioni, invece, richiedono obbligatoriamente la possibilità di variare il ritardo temporale di un segnale, e non solamente la sua fase. Per questo motivo, è stata realizzata una cella realizzata dalla combinazione di una cella "ladder" ed una cella "lattice" ( Fig.5). In questo modo è possibile compensare il ritardo di gruppo ed ottenere così un group delay costante in funzione della frequenza. Anche in questo caso si è ottenuta una notevole riduzione delle perdite con in aggiunta una notevole riduzione dell'area occupata.

Il terzo blocco del quale mi sono occupato è il power combiner. Poiché esso viene utilizzato per sommare tutti i segnali provenienti dalle differenti antenne, è necessario avere un alto isolamento tra le diverse porte di ingresso ed un basso insertion loss per non vanificare tutti i benefici introdotti da un'architettura phased array. A tal proposito è stata studiata e realizzata una nuova tipologia di Wilkinson power combiner in grado di ottenere delle basse perdite e la possibilità di avere impedenze caratteristiche arbitrarie alle tre porte. Esso è realizzato da due sezioni di linea di trasmissione a parametri concentrati che hanno il compito di

sfasare il segnale di  $\lambda/4$  ( Fig.6). I risultati di misura più significativi sono: insertion loss di soli 1.4dB su una banda da 8 a 14GHz, un isolamento maggiore di 10dB ed un input matching migliore di 12dB su tutte e tre le porte. Tutti i chip realizzati durante l'ultimo anno utilizzano una tecnologia Bipolare o BiCMOS di Infineon Technologies.

## Titolo definitivo della tesi

"Design of Fully-Integrated High-Resolution Radars in CMOS and BiCMOS Technologies"

Supervisore: prof. Andrea Neviani

## Parte 3: Pubblicazioni

### Pubblicazioni su Riviste o Conferenze

- Bassi M., Caruso M., Bevilacqua A., Neviani A.: "A 1.75-15 GHz Stepped Frequency Receiver for Breast Cancer Imaging in 65 nm CMOS", IEEE European Solid State Circuit Conference (ESSCIRC)
- Caruso M., Bassi M., Bevilacqua A., Neviani A.: "Wideband 2-16GHz Local Oscillator Generation for Short-Range Radar Applications", IEEE European Solid State Circuit Conference (ESSCIRC)
- Caruso M., Bassi M., Bevilacqua A., Neviani A.: "A 2-16GHz 204mW 3mm-Resolution Stepped Frequency Radar for Breast Cancer Diagnostic Imaging in 65nm CMOS", IEEE International Solid State Circuit Conference (ISSCC)
- Bassi M., Caruso M., Bevilacqua A., Neviani A.: "A 65nm CMOS 1.75-15GHz Stepped Frequency Radar Receiver for Early Diagnosis of Breast Cancer", IEEE Journal of Solid State Circuits (JSSC)
- Bassi M., Caruso M., Bevilacqua A., Neviani A.: "An Integrated Microwave Imaging Radar with Planar Antennas for Breast Cancer Detection", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques
- Caruso M., Bevilacqua A., Neviani A.: "An X-band Lumped-Element Wilkinson Combiner with Embedded Impedance Transformation", IEEE Microwave Component Letters [sottomesso].

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **CARUSO Michele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **CASTELLARO Marco** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **CASTELLARO Marco** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

Tema vincolato: "Sviluppo e ottimizzazione computazionale di metodi avanzati per l'analisi di dati biologici"

### Attività didattica seguita:

Corsi della scuola di dottorato:

- Bioelectromagnetics, Prof. Tullio A. Minelli, CIRMANMEC University of Padova
- Dose, effect, threshold, Prof. Andrea Trevisan, Dipartimento di Medicina Ambientale e Sanità Pubblica, Univ. di Padova
- Applied linear algebra, Prof. Tobias Damm, TU Kaiserslautern, Harald Wimmer, University of Würzburg
- Statistical Methods, Lorenzo Finesso, Istituto di Ingegneria Biomedica, ISIB-CNR, Padova
- Dynamical Models in Systems Biology, Prof. Claudio Altafini, SISSA (Int. School for Advanced Studies), Trieste

Distinguished Lectures presso DEI:

- "Può l'informazione modificare il cervello?", Prof. Lamberto Maffei, Scuola Normale Superiore di Pisa
- "Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality", Dr. Federico Turkheimer, Hammersmith Hospital, Imperial College
- "*Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery*", Prof. David Taubman, Università di New Southern Wales.
- "*European universities facing the Asian challenge in science and technology. The role of evaluation*", Prof. Andrea Bonaccorsi Università di Pisa e ANVUR.
- "*Architecture and applications of software defined environments*", Radha Ratnaparki, PhD, IBM Research.

Seminari:

- "*Stimolazione transcranica e plasticità corticale: tra neuroscienze e neuroriabilitazione*", Prof. Carlo Miniussi Università di Brescia, Padova, presso la facoltà di psicologia
- "*Lying in the scanner*", Prof. Giorgio Ganis, Padova, presso la facoltà di psicologia
- "*Acquisizione di EEG e potenziali evento-relati*", Ing. Raffaele Orsato
- "*Mente e Cervello, quarta edizione*" (Conduttori vari) nell'ambito della Brain Awareness Week del dipartimento di Psicologia, Univ. di Padova
- "*What can be gained using advanced ASL in the clinic?*" Prof. Xavier Golay, UCL, London (UK) Verona, Ospedale B.go Trento

- *“Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus”* Ing. G. Cisotto
- *“Neural correlates of cognitive dysfunction in MS”* Olivia Geisseler, NIMS, University of Zurich, presso Verona, Ospedale B.go Trento
- *“Cortical pathology in multiple sclerosis: the neurological point of view”* Prof. R. Reynolds, Division of Brain Sciences, Imperial College , London (UK) presso Verona, Ospedale B.go Trento.

Workshop:

- Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Secondo Workshop, 30 Giugno – 1 Luglio 2011, Padova
- Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Terzo Workshop, 16 Settembre – 19 Settembre 2013, Padova

Scuole di dottorato:

- PhD - Summer School on Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Padova, (12-16 Settembre 2011)
- *Parallel Imaging: Basic and Advanced Transmission and Reception Concepts*, Wurzburg, (DE) Organizzato da European Society of Magnetic Resonance in Medicine and Biology (Giugno 2012)
- PhD - Summer School on Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Padova, (16-19 Settembre 2013)
- *Arterial Spin Labelling in a Clinical Environment*, Verona, (IT) Organizzato da COST EU – Arterial Spin Labeling Initiative on Dementia (Luglio 2013)
- *Arterial Spin Labelling from a Technical point of view*, Toulouse, (FR) Organizzato da COST EU – Arterial Spin Labeling Initiative on Dementia (Ottobre 2013)

Corsi di specializzazione e convegni

- *19<sup>th</sup> Annual Meeting & Exhibition of the International Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Montreal, Quebec, Canada (Maggio 2011):
- *Current Concepts in Spin Labelling and Contrast-Enhanced Perfusion MRI* Oxford, (20 - 21 Settembre 2011)
- *5<sup>th</sup> Joint Triennial Congress Of The European And Americas Committees For Treatment And Research In Multiple Sclerosis*, Amsterdam, NL (Ottobre 2011)
- *29<sup>th</sup> Annual Meeting of European Society of Magnetic Resonance in Medicine and Biology*, Lisbon (Portugal), (Ottobre 2012)
- *Annual Meeting of Arterial Spin Labeling Initiative on Dementia*, Brussels (BE), Organizzato da COST EU – Arterial Spin Labeling Initiative on Dementia (Febbraio 2013)
- *21<sup>th</sup> Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Salt Lake City, Utah (USA) (Maggio 2013)
- *30<sup>th</sup> Annual Meeting of European Society of Magnetic Resonance in Medicine and Biology*, Toulouse (FR), (Ottobre 2013)
- *4<sup>th</sup> Annual Meeting organised by Italian Chapter of International Society of Magnetic Resonance in Medicine*, Perugia (IT), (Ottobre 2013)

- Challenge
- Vincitore di EU-COST: ASL ACQUISITION CHALLENGE: “*Acquire the best ASL image with the highest resolution!*” All’interno del secondo workshop annuale dell’EU-COST Action BSMS 113 Arterial Spin Labelling Initiative in dementia. L’immagine prodotta è stata giudicata la migliore da una commissione internazionale, composta dal Prof. Xavier Golay, Prof. Alberto Bizzi, Dott.ssa Marion Smits e Prof. John Detre.

#### Attività didattica:

- Presentazione orale con titolo “Computational Challenges in Magnetic Resonance Imaging” durante Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Secondo Workshop, 30 Giugno – 1 Luglio 2011, Padova.
- Supporto alla didattica al corso di Neuroingegneria per il corso di Laurea in Bioingegneria (a partire dal mese di Ottobre 2011 a Marzo 2012)
- Supporto alla didattica al corso di Neuroingegneria per il corso di Laurea in Bioingegneria (a partire dal mese di Ottobre 2013 a Marzo 2014)

#### Attività di ricerca

L’attività di ricerca da me svolta durante i 3 anni di dottorato si suddivide in 3 filoni:

##### 1. Ottimizzazione computazionale di algoritmi di deconvoluzione applicati a Dynamic Susceptibility Contrast – MRI

L’algoritmo Non-linear Stochastic Regularization ha permesso di superare le problematiche non risolte dall’uso del semplice metodo di deconvoluzione Singular Value Decomposition nella quantificazione della perfusione cerebrale da immagini di risonanza magnetica Dynamic Susceptibility Contrast (DSC-MRI). I punti deboli di questo approccio, che ne precludono l’utilizzo a livello clinico, sono dovuti al carattere non lineare e alla notevole sensibilità ai punti iniziali, che influiscono pesantemente sul carico computazionale. Durante il primo anno di dottorato, ho effettuato un’operazione di profiling del codice già esistente individuandone i punti critici. Inoltre ho dato inizio allo sviluppo di procedure automatiche per risolvere il problema di sensibilità ai punti iniziali. Alla fine del primo anno allo studio del metodo di deconvoluzione NSR è stato affiancato lo studio di Stable Spline. Un metodo di deconvoluzione basato sulla teoria dei kernel. Sono stati effettuati profiling e riduzione del carico computazionale associato. Si sono intrapresi i primi passi per la parallelizzazione del codice di entrambe le metodiche. Alla fine del secondo anno NSR è stata ottimizzata e la versione fastNSR è in corso di pubblicazione.

##### 2. Applicazione del Compressed Sensing a DSC-MRI

La teoria del Compressed Sensing (CS) ha prodotto una vera rivoluzione nel campo della risonanza magnetica per immagini. Questo approccio permette infatti di superare i limiti nel campionamento imposti dal teorema di Nyquist/Shannon sotto l’ipotesi che il segnale acquisito sia sparso. La risonanza magnetica ha un dominio di acquisizione sparso per natura e questo ne fa un candidato perfetto per l’applicazione del CS. Durante il secondo anno ho iniziato lo sviluppo, collaborando con il Dott. Enrico Grisan, ad una possibile applicazione del Compressed Sensing a dati di DSC-MRI. Questa attività di ricerca si è estesa all’interno di una nuova collaborazione con il Prof. Fabio Marcuzzi del dipartimento di Matematica pura e

Applicata, Università degli studi di Padova e hanno portato a una pubblicazione in fase di revisione.

### 3. Arterial Spin Labelling: Deconvoluzione e modelli basati sulla fisiologia

Lo studio della perfusione cerebrale con tecniche DSC-MRI prevede l'iniezione di un liquido di contrasto, che è normalmente ben tollerato, ma che presenta alcune controindicazioni, che ne limitano il riutilizzo nel tempo e in ambito pediatrico. Per studiare la perfusione anche in pazienti in giovane età o su cui è necessario un monitoraggio più serrato (ad es. Patologie di Stroke, ecc.) è stato introdotto l'utilizzo di una nuova tecnica di imaging che prevede l'utilizzo del sangue stesso, opportunamente "marcato" magneticamente, come agente di contrasto. Tra le numerose varianti presenti in letteratura, ho scelto di implementare lo schema pCASL che consente di ottenere un buon rapporto segnale rumore ed una soddisfacente risoluzione spaziale. L'ottimizzazione di tale sequenza è stata effettuata in collaborazione con il Prof. Fabio Triulzi e il Dott. Filippo Arrigoni, presso l'istituto di ricerca Eugenio Medea, fondazione "La nostra Famiglia", Bosisio Parini (Lecco, LC). In questa sede è stato ottimizzato uno Scanner MRI Philips Achieva 3T. Sono state prodotte delle immagini ad alta risoluzione su volontari sani che sono state presentate all'interno del secondo workshop dell' EU-COST Arterial Spin Labelling Initiative on Dementia.

Oltre all'ottimizzazione di sequenza e scanner, ho iniziato lo studio di una nuova particolare una sequenza, denominata QUASAR. Questa metodica permette di applicare metodi di deconvoluzione per la stima della perfusione anche in ASL. Nell'ultima parte del secondo anno ho intrapreso un periodo di visita presso l'Univ. di Oxford (UK), Institute of Biomedical Engineering, sotto la supervisione del Dott. Michael Chappell, con lo scopo di applicare il metodo di deconvoluzione Stable Spline ottimizzato a dati QUASAR. Durante il suddetto periodo è stato svolto un lavoro di ottimizzazione computazionale dell'algoritmo Stable Spline con l'inserimento di vincoli di non negatività e di fisiologicità alle funzioni residuo stimate.

Oltre allo sviluppo di metodi di deconvoluzione applicati a questo particolare tipo di dati sono stati analizzati esistenti metodi basati su approcci Bayesiani Variazionali e sono state introdotte modifiche per rendere più fisiologicamente accettabili le stime di tali modelli.

In collaborazione con il Dipartimento di Neurologia e Neuroradiologia dell'ospedale di Verona (Ing. Boscolo Galazzo e Dott.ssa Pizzini) sono state ottimizzate una serie di sequenze innovative che prevedono di combinare il più robusto schema di labeling (pseudo-continuous ASL) e un read-out di tipo look locker per ottenere una misura dei parametri emodinamici. Sono stati approntati nuovi modelli per lo studio dell'emodinamica cerebrale con la nuova sequenza pCASL e in particolare è stato proposto un modello che possa distinguere la componente puramente arteriale da quella tessutale. Questo modello e la sequenza ottimizzata successivamente sono state inserite all'interno di una collaborazione con l' IRCSS Carlo Besta (Dott. Boffano) per lo studio di patologie cerebrali di carattere tumorale come Gliomi e Glioblastomi.

Titolo definitivo della tesi:

Quantitative neuroimaging of perfusion with arterial spin labeling: deconvolution and physiology-based models

Supervisore: Prof.ssa Alessandra Bertoldo

Elenco delle pubblicazioni su rivista internazionale

- Heterogeneity of cortical lesions in multiple sclerosis: an MRI perfusion study. D. Peruzzo, M. Castellaro, M. Calabrese, E. Veronese, F. Rinaldi, V. Bernardi, A. Favaretto, P. Gallo, Bertoldo A. Journal of Cerebral Blood flow and metabolism , 2013 Mar;33(3):457-63.
- Analytic heuristics for a fast DSC-MRI M. Virgulin, M. Castellaro, E. Grisan, F. Marcuzzi submitted to Applied Mathematics and Computation (July 2013)
- Stable spline deconvolution for DSC-MRI, D. Peruzzo, M. Castellaro, G. Pillonetto, A. Bertoldo, under submission to IEEE Transaction of Biomedical Imaging (November 2013)
- Estimation of delay and Cerebral Blood Flow from QUASAR using Stable Spline. M. Castellaro, D. Peruzzo, A. Mehendiratta, G. Pillonetto, E.T. Petersen, X. Golay, M.A. Chappell, A. Bertoldo under submission to Magnetic Resonance in Medicine (November 2013)

Lavori presentati a convegni

- *Altered Hemodynamics of Cortical Lesions in Multiple Sclerosis: a Dynamic Susceptibility Contrast MRI study using a Kernel-Based Deconvolution Algorithm*, M. Castellaro et al, Electronic poster 3923, 19<sup>th</sup> Annual Meeting & Exhibition of the International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Montreal (CAN) (Maggio 2011). (Poster Presentation)
- *Longitudinal analysis of the perfusion and diffusion parameters of cortical lesions and normal appearing cortical gray matter in multiple sclerosis*, M. Castellaro et al, 5<sup>th</sup> Joint Triennial Congress Of The European And Americas Committees For Treatment And Research In Multiple Sclerosis - (Ottobre 2011), Amsterdam, NL (Poster Presentation)
- *Optimized Non-Linear Stochastic Regularization for DSC-MRI* D. Benozzo, D. Peruzzo, M. Castellaro, G. Pillonetto, A. Bertoldo Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine, Vol 25, Supplement 1, October 2012, pag. 590 (Oral Presentation)
- *Single post-labeling versus multi post-labeling pCASL: evaluation of differences in cerebral blood flow estimation*, I. Boscolo Galazzo, M. Castellaro, D. Peruzzo, F. Arrigoni, F. Triulzi, A. Bertoldo, Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine, Vol 25, Supplement 1, October 2012, pag. 590 (Poster Presentation)
- *Assessment of mono-exponential model with Pseudo Continuous ASL data* M. Castellaro, I. Boscolo Galazzo, D. Peruzzo, F. Arrigoni, F. Triulzi, A. Bertoldo , Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine, Vol 25, Supplement 1, October 2012, pag. 590 (Poster Presentation)
- *Kernel-Based Deconvolution Method to Study Perfusion of Cortical Lesions in Multiple Sclerosis*, M. Castellaro, D. Peruzzo, G. Pillonetto, A. Bertoldo, Congresso Nazionale del Gruppo Nazionale di Bioingegneria, Roma, Giugno 2012. (Poster Presentation)
- *Cerebral blood flow quantification from QUASAR ASL by Stable Spline* M. Castellaro, A. Mehendiratta, D. Peruzzo, G. Pillonetto E.T. Petersen, X. Golay, M.A. Chappell, A. Bertoldo

- 21<sup>th</sup> Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine, Salt Lake City, Utah, May 2013 (Poster Presentation)
- *Reconstruction of DSC-MRI data from sparse data exploiting temporal redundancy and contrast localization*, D. Boschetto, M. Castellaro, P. Di Prima, A. Bertoldo, E. Grisan XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing held in Seville (Spain) September, 2013 (Oral Presentation)
  - *Separation of arterial and tissue components from uncrushed pCASL with Look-Locker readout*, M. Castellaro, I. Boscolo Galazzo, M. Battiston, S. Montemezzi, A. Beltramello, F.B. Pizzini, A. Bertoldo *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, Vol 26, Supplement 1, October 2013, pag. 261 (Oral Presentation)
  - *Correction for macrovascular artifacts in CBF estimation with Pseudo Continuous Arterial Spin Labeling & Look-Locker readout data* M. Battiston, M. Castellaro, F. Arrigoni, F. Triulzi, A. Bertoldo, *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, Vol 26, Supplement 1, October 2013, pag. 258 (Oral Presentation)
  - *Assessment of the labeling duration impact on perfusion estimates from a multiple time point pCASL acquisition*. I. Boscolo Galazzo, M. Castellaro, S. Montemezzi, A. Beltramello, F. B. Pizzini, A. Bertoldo, *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, Vol 26, Supplement 1, October 2013, pag. 259 (Poster Presentation)

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **CASTELLARO Marco** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **CHIARELLO Fabrizio** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **CHIARELLO Fabrizio** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **Parte 1 Didattica**

#### Corsi seguiti

- Introduction to Quantum Optics I: quantum information and communication (Prof. Alexander Sergienko)
- Introduction to Quantum Optics II: quantum measurement, imaging and metrology (Prof. Alexander Sergienko)
- Statistical Methods (Prof. Lorenzo Finesso)
- Applied Linear Algebra (Proff. Harald Wimmer e Tobias Damm)
- Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices (Prof. Giovanni Verzellesi)

#### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- Scuola estiva in Ingegneria dell'Informazione, "Green Technologies Enabling Energy Saving", Bressanone (BZ), 16 – 20 Luglio 2012

#### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- "Fiber optic parametric frequency comb generator by continuous-wave seeding," Nima Alipour (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), Göteborg, Svezia, 4 Novembre 2013
- "Towards practical implementation of phase-sensitive amplifier based transmission system," Samuel Olsson (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), Göteborg, Svezia, 20 Settembre 2013
- "Theoretical and Experimental Directions in Optical Wireless Communications," Prof. Steve Hranilovic (McMaster University, Canada), Göteborg, Svezia, 17 Settembre 2013
- "Quasi-Single Mode VCSELs for Longer-Reach Optical Interconnects," Erik Haglund (Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden), Göteborg, Svezia, 13 Settembre 2013
- "Performance and motivation," Manuel Knight, Göteborg, Svezia, 5 Settembre 2013

- “Primary Frequency Standards at NIST,” Dr. Steven Jefferts (National Institute of Standards and Technology (NIST), (USA)), Göteborg, Svezia, 10 Giugno 2013
- “Cooperative Multi-Agent Learning and Coordination for Cognitive Radio Networks,” Prof. William Zame (Department of Economics and of Mathematics, University of California, Los Angeles (USA)), Padova, 2 Maggio 2013
- “Il Polo Fotovoltaico del Veneto,” Padova, 23 Aprile 2013
- “Coherent effects in 1550 nm QD laser amplifiers,” Prof. Gadi Eisenstein (Russell Berry Nano Technology Institute Technion, Haifa, (Israel)), Padova, 19 Aprile 2013
- “The Japanese Smart Grid and its Related Power Electronics,” Prof. Hirofumi Akagi (Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology (Japan)), Padova, 25 Febbraio 2013
- “Brain-Machine Hybrid System: Investigation of Algorithms in a Silkworm Moth,” Prof. Daisuke Kurabayashi (Tokyo Institute of Technology (Japan)), Padova, 18 Febbraio 2013
- “3D Visual Sensing, Modeling and Recognition for Manufacturing and Service,” Prof. Sukhan Lee (Intelligent Systems Research Center, Sungkyunkwan University (Korea)), Padova, 26 Novembre 2012
- “The scientific legacy of Hubble space telescope,” Robert Williams (Space Telescope Science Institute, Baltimore, MD), Padova, 10 Ottobre 2012
- “From nanotechnology to nanoscience,” Prof. Fabio Beltram (Scuola Normale Superiore di Pisa), Padova, 8 Maggio 2012
- “Multipath and polarization entanglement of photons,” Prof. Paolo Mataloni (Università La Sapienza di Roma), Padova, 23 Febbraio 2012
- “GPU computing for modelling EM fields,” Maryam Mehri Dehnavi (McGill University, Montreal, Canada), Padova, 14 Settembre 2011
- “Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery,” Prof. David Taubman (University of New Southern Wales), Padova, 8 Settembre 2011
- “My life in Silicon Valley,” Dr. Federico Faggin (Foveon Inc.), Padova, 7 Giugno 2011
- “Design and Analysis of Random Access Networks with Interference Alignment,” Dr. Francesco Rossetto (DLR (German Aerospace Center)), Padova, 7 Marzo 2011
- “Physical-Layer Security,” Prof. Matthieu Bloch (Georgia Institute of Technology, USA), Padova, 17 Febbraio 2011
- “La macchina che cerca l’origine dell’universo,” Prof. Ugo Gasparini (Università degli Studi di Padova), Padova, 31 Gennaio 2011

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- Fotonica 2013, 15° Convegno Nazionale delle Tecnologie Fotoniche, Milano, 21–23 maggio 2013

#### Permanenza all'estero

E' stato condotto un periodo di studio e ricerca su tematiche relative all'amplificazione parametrica sensibile alla fase in fibre ottiche, presso il Photonics Laboratory, Department of Microtechnology and Nanoscience, Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden, da giugno 2013 a novembre 2013, sotto la supervisione del Prof. Magnus Karlsson.

## **PARTE 2 RICERCA**

Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato (max 2 pagine) mettendo particolarmente in evidenza i risultati originali conseguiti.

L'attività di ricerca ha riguardato lo studio, l'analisi e l'applicazione di fenomeni di amplificazione non lineare in fibre ottiche.

In particolare la ricerca é stata focalizzata su due diverse classi di applicazioni:

- attrazione di polarizzazione non lineare in amplificatori Raman in fibra ottica
- oscillatori ottici non lineari in fibra ottica

*1) Attrazione di polarizzazione non lineare in amplificatori Raman in fibre ottiche affette da birifrangenza aleatoria*

L'attività di ricerca si è focalizzata sullo studio dell'attrazione di polarizzazione non lineare in fibre ottiche affette da birifrangenza aleatoria. L'attrazione di polarizzazione non lineare si realizza sfruttando le interazioni non lineari tra fasci ottici originate dalla non linearità del terzo ordine della suscettività elettrica della fibra. La dispersione dello stato di polarizzazione, dovuto all'aleatorietà della birifrangenza e dalla dispersione dei modi di polarizzazione, può così essere compensata tramite l'attrazione verso un ben determinato stato di polarizzazione. In particolare, lo studio ha riguardato l'attrazione di polarizzazione mediante l'utilizzo dell'amplificazione Raman stimolata in configurazione contro-propagante, e si è articolato in (i) un'indagine teorico-numerica, e in (ii) un'implementazione e caratterizzazione sperimentale.

- Un'accurata ed estensiva analisi numerico-statistica, ottenuta risolvendo le equazioni vettoriali stocastiche che regolano il fenomeno e il relativo problema ai valori al contorno, condotta considerando anche il regime di svuotamento della pompa, ha permesso di determinare l'effettiva efficacia dell'attrazione di polarizzazione in tale configurazione, e ne ha determinato i limiti di funzionamento. Inoltre l'analisi ha portato alla deduzione di una semplice relazione empirica che lega il grado di polarizzazione al guadagno medio e che consente un rapido dimensionamento dell'attrattore di polarizzazione a partire dal grado di polarizzazione richiesto. Tale relazione risulta inoltre essere un limite superiore sulla massima efficienza ottenibile.
- L'attività sperimentale ha avuto come obiettivi l'implementazione del sistema, la sua caratterizzazione e la verifica dei risultati conseguiti al punto (i). A tal fine, sono stati implementati un sistema di emulazione della dispersione in

polarizzazione per il segnale, e uno di controllo della polarizzazione della pompa verso cui il segnale viene attratto, nonché di uno specifico sistema per la misura dello stato e del grado di polarizzazione. Il grado di polarizzazione ottenibile al variare delle caratteristiche delle fibre e dei livelli di potenza è stato valutato mediante misure polarimetriche in trasmissione. I risultati sperimentali hanno mostrato un ottimo accordo con l'analisi teorico-numerica, confermando l'esistenza e l'espressione della legge che lega il grado di polarizzazione al guadagno e del fatto che essa rappresenta un limite superiore dell'efficienza di attrazione.

## 2) *Oscillatori ottici non lineari in fibra ottica*

L'attività di ricerca ha riguardato lo studio e l'implementazione sperimentale di oscillatori non lineari in fibra ottica basati su amplificazione parametrica e Raman, sia in regime ad onda continua sia in regime impulsato, con particolare enfasi rivolta alla possibilità di sintonizzarli su determinate regioni spettrali.

Per la realizzazione di oscillatori in regime impulsato sono stati utilizzati gli effetti di diffusione Raman stimolata e di amplificazione parametrica, sia di tipo a banda larga che di tipo a banda stretta; utilizzando in modo congiunto tali processi è stata realizzata una sorgente tunabile con sintonia lineare su un'ampia regione spettrale di 160nm.

Sempre in regime impulsato è stato anche realizzato un comb ottico sintonizzabile utilizzando i processi di amplificazione parametrica a banda larga e di miscelazione a quattro onde a cascata. I comb ottici trovano applicazioni nei campi più diversi, dalla metrologia alle comunicazioni, dal processamento dei segnali alle analisi spettroscopiche. In particolare, si sono ottenuti comb ottici con un'estensione massima di 80nm, e con la possibilità di sintonia sia per quanto riguarda la spaziatura tra le righe sia la posizione spettrale del centro del comb nell'intorno dello zero di dispersione della fibra ottica. La peculiarità del sistema utilizzato per la generazione di tali comb riguarda il fatto che, diversamente da altri lavori in letteratura, viene utilizzata solamente una singola pompa, diminuendo di fatto i problemi legati alla stabilità di fase e frequenza dei sistemi che utilizzano più pompe.

Per quanto riguarda gli oscillatori in regime continuo, ci si è focalizzati sul loro utilizzo come sorgenti a banda larga per la soppressione dell'effetto Brillouin negli amplificatori Raman sviluppati per lo studio dell'attrazione di polarizzazione. L'effetto Brillouin pone un limite superiore alla massima potenza ottica trasmissibile in una fibra ottica. Una possibile soluzione per sopprimere tale effetto e quindi aumentare la potenza disponibile è quello di allargare opportunamente lo spettro dell'onda. Si è pertanto realizzata una sorgente in onda continua, polarizzata e tunabile, con banda sufficientemente larga da sopprimere l'effetto Brillouin.

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore

- **Titolo:** *Analysis and application of nonlinear amplification effects in single-mode optical fibers*
- **Supervisore:** *Dott. Luca Palmieri*

**Parte 3 Pubblicazioni**

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- **F. Chiarello**, L. Palmieri, A. Galtarossa, M. Santagiustina, “Widely time-dispersion-tuned fiber optical oscillator and frequency comb based on multiple nonlinear processes,” *Optics Letters*, 2013, vol. 38, no. 22, pp. 4621 – 4624
- **F. Chiarello**, L. Palmieri, M. Santagiustina, R. Gamatham, e A. Galtarossa, “Experimental characterization of the counter-propagating Raman polarization attraction,” *Optics Express*, 2012, vol. 20, no. 23, pp. 26050 – 26055
- **F. Chiarello**, L. Ursini, L. Palmieri, e M. Santagiustina, “Polarization Attraction in Counterpropagating Fiber Raman Amplifiers”, *IEEE Photonics Technology Letters*, 2011, 23, 1457-1459
- **F. Chiarello**, L. Ursini, e M. Santagiustina, “Securing Wireless Infrared Communications Through Optical Chaos”, *IEEE Photonics Technology Letters*, 2011, 23, 564-566

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- **F. Chiarello**, L. Ursini, e M. Santagiustina, “Securing Free Space Optics Communications through Optical Chaos”, *OSA Access Networks and In-house Communications (OSA/ANIC)*, 2011, ATuC5

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

- **F. Chiarello**, L. Palmieri, A. Galtarossa, and M. Santagiustina, “Nonlinear multi-process fiber laser widely tunable through time-dispersion tuning (invited)”, in *Fotonica 2013*, 15° Convegno Nazionale delle Tecnologie Fotoniche, Milano, Italy, 21–23 maggio 2013, p. C4.1, isbn: 9788887237160.
- M. Santagiustina, L. Ursini, A. Galtarossa, **F. Chiarello**, L. Palmieri, C. G. Sameda, L. Thévenaz, e A. Leitch, “Microwave Photonic Notch Filter Based on Dynamic Brillouin Gratings Generated by PRBS Signals,” *Fotonica 2012*, B3.4
- L. Schenato, G. Marcato, A. Pasuto, L. Palmieri, **F. Chiarello**, A. Galtarossa, G. Gruca, T. van de Watering, e D. Iannuzzi, “Experimental Analysis of Fiber Optic Sensor for Detection of Precursory Acoustic Signals in Rockfall Events,” *Fotonica 2012*, B6.5

- **F. Chiarello**, L. Ursini, L. Palmieri, M. Santagiustina, A. W. R. Leitch, e M. Guglielmucci, “Polarization Attraction in Counter-Propagating Fiber Raman Amplifiers”, Fotonica 2011, 2011, C4.3
- M. Santagiustina, L. Ursini, L. Palmieri, **F. Chiarello**, e M. Bosiljevac, “Dynamic Brillouin Gratings Permanently Induced by Chaotic Signals for Sensing Applications”, Fotonica 2011, 2011, B6.6
- L. Ursini, **F. Chiarello**, M. Santagiustina, e L. Schenato, “Comunicazioni sicure in spazio libero su portante ottica caotica”, Fotonica 2010, 2010, P1.5

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **CHIARELLO Fabrizio** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **CISOTTO Giulia** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **CISOTTO Giulia** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

#### Parte 1: Didattica

- Elenco dei corsi seguiti:

Bioelectromagnetics, Applied Linear Algebra, Physical Models for the Numerical Simulation of semiconductor devices, Dynamics over Networks, Statistical Methods.

- Elenco delle scuole di dottorato seguite:

- *Sensors and Sensor Networks*, Summer School of Information Engineering, Bressanone (BZ), 1-5/07/2013.
- *1<sup>st</sup> Cognitive and Affective Neurophysiology Summer School: Acquisition, processing and analysis of EEG signal*, Porto, Portogallo, 2-9/09/2012.
- *Advanced Techniques for Neuronal Networks Investigation and Brain - Machine Interfacing*, 1<sup>st</sup> CSN School on Neurophysiology Techniques, Padova, 14-18/03/2011.

- Elenco dei seminari seguiti:

- Ing. Maria Grazia Di Bono, *Analisi del segnale in fMRI*, IRCCS San Camillo, Lido di Venezia, 31/03/2011.
- Prof. Lamberto Maffei, *Può l'informazione modificare il cervello?*, DEI, 05/05/2011.
- Prof.ssa Gianna Maria Toffolo, *Modelli per l'analisi e l'interpretazione di segnali e immagini nelle neuroscienze*, Dip. Scienze MM.FF.NN. Univesità di Verona, 17/05/2011.
- Dott. Apostolos Georgiadis, *Power harvesting towards autonomous RFIDs and wireless sensors*, DEI, 23/09/2011.
- Dott. Federco Turkheimer, *Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality*, DEI, 08/11/2011.
- Ing. Luca Tonin, *Riconoscimento dell'attenzione visiva in applicazioni di Brain Computer Interface*, IRCCS San Camillo, Lido di Venezia.
- Dr. Mattia Marangon, *Modificazioni dell'eccitabilità corticospinale indotte dall'osservazione di azioni in pazienti colpiti da ictus*, IRCCS San Camillo, 02/02/2012.
- Ing. Anahita Goljahani, *La frequenza alfa individuale dell'EEG: metodiche di stima e potenziali applicazioni*, Ciclo di seminari C.I.R.M.A.N.M.E.C., Padova, 29/02/2012.

- Dott. Angelo Antonini, *Deep Brain Stimulation nei pazienti con Parkinson*, Ciclo di seminari "I martedì della clinica", Padova, 04/2012.
- Prof. Maurizio Corbetta, *Attività cerebrale spontanea: una chiave per comprendere la mente?*, Dip. Psicologia, 03/05/2012.
- Prof. Giovanni Berlucchi, *Vecchi e nuovi concetti di neurobiologia*, Ciclo di seminari "I martedì della clinica", Padova, 05/2012.
- Ing. Clara Genna, *Vie di implementazione di sistemi BCI*, IRCCS San Camillo, 10/05/2012.
- Dott. Francesco Grigoletto e Dott. Andrea Turolla, *La ricerca clinica: dall'idea al progetto esecutivo. Parte 1*, IRCCS San Camillo, 10/05/2012.
- Ing. Elisa Sartori, *Metodiche di stima della connettività cerebrale mediante EEG*, seminario C.I.R.M.A.N.M.E.C., DEI, 16/05/2012.
- Dott. Francesco Grigoletto e Dott.ssa Marianna Cavinato, *La ricerca clinica: dall'idea al progetto esecutivo. Parte 2*, IRCCS San Camillo, 17/05/2012.
- Dott.ssa Elena Baldin, *Modificazioni muscolari nei musicisti*, IRCCS San Camillo, 07/06/2012.
- Dott.ssa Roberta Biundo, *Profilo cognitivo nei pazienti con malattia di Parkinson*, IRCCS San Camillo, 14/06/2012.
- Dott.ssa Isabella Koch e Dott.ssa Serenella Pegoraro, *La presa in carico riabilitativa del paziente con disfagia neurogena: 2 casi clinici*, IRCCS San Camillo, 19/07/2012.
- Dott.ssa Katia Khan, *Il mondo multiculturale: una sfida per l'esame neuropsicologico*, IRCCS San Camillo, 27/09/2012.
- Prof. Luigi Agnati e Prof. Pier Franco Spano, *Neuroscienze riabilitative: Le malattie neurodegenerative e l'ictus*, IRCCS San Camillo, 18/10/2012.
- Ing. Davide Cattin, *Up to Date degli studi sulle sinergie muscolari*, IRCCS San Camillo, 25/10/2012.
- Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea (APRE), *La gestione degli aspetti legali e finanziari del VII P.Q. e anticipazioni su Horizon 2020*, San Camillo, 17-18/01/2013.
- Dott.ssa Domenica Borra, *Localization and optimization problems for camera networks*, DEI, 31/01/2013.
- Prof. Stuart Russell, *Unifying logic and probability: A "New Dawn" for Artificial Intelligence?*, Dip. Matematica, 12/02/2013.
- Prof. Daisuke Kurabayashi, *Brain-Machine Hybrid System: Investigation of Algorithms in a Silkworm Moth*, DEI, 18/02/2013.
- Ciclo di 6 congressi *La via delle Scienze*, Valdagno (VI), marzo-aprile 2013.
- Dott. Luca Brayda, *Mental maps from tactile virtual objects*, DEI, 15/05/2013.
- Prof. Davide Piovesan, *Seminario sulla Robotica Riabilitativa*, DEI, 16/05/2013.
- Prof. Eli Upfal, *Statistical Learning Theory Meets Big Data: Randomized Algorithms for Extracting Frequent Itemsets and Association Rules*, DEI, 17/05/2013.
- Prof. Jacques Savoy, *Who wrote this novel? A short introduction to authorship attribution*, DEI, 17/09/2013.
- *Brain-Computer Interface: workshop and hands on seminar*, DEI, 03/10/2013.

- Prof. Maurizio Seracini, *La scienza della conservazione per i beni culturali*, DEI, 14/10/2013.
- Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori):
  - due esercitazioni in sostituzione del supervisore.
- Partecipazione a Conferenze Nazionali:
  - *Il Veneto per la Ricerca, Regione del Veneto, Zelarino (Venezia)*, 28-29/06/2012.
  - XX Conferenza Annuale della Società Italiana di Psicofisiologia, Lido di Venezia, 22-24/11/2012.
  - XIX Conferenza Annuale della Società Italiana di Psicofisiologia, Brescia, 14-16/11/2011.
  - XVIII Conferenza Annuale della Società Italiana di Psicofisiologia, Palermo, 24-26/11/2010.
- Partecipazione a Conferenze Internazionali:
  - 9<sup>th</sup> International Euro-Mediterranean Medical Informatics and Telemedicine Conference EMMIT, Nador, Marocco, 21-23/10/2013.
  - 15<sup>th</sup> IEEE Healthcom, Lisbona, Portogallo, 9-12/10/2013.
  - IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest, Ungheria, 9-12/06/2013.
  - 5<sup>th</sup> International Brain-Computer Interface Conference, Graz, Austria, 22-24/09/2011.
  - *Translational Issues in BCI Development: User Needs, Ethics, and Technology Transfer*, 2<sup>nd</sup> TOBI Workshop, Roma, 3-5/12/2010.

## Parte 2: Ricerca scientifica

L'attività di dottorato si è svolta in parte presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e in parte – per quanto riguarda la parte sperimentale - presso l'I.R.C.C.S. San Camillo di Lido di Venezia, con cui da aprile 2010 a marzo 2013 ho avuto un rapporto di collaborazione a progetto ufficialmente riconosciuto anche dalla Scuola di Dottorato e dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, nell'ambito della convenzione I.R.C.C.S. San Camillo-DEI siglata nel 2009.

La mia ricerca verte principalmente sull'analisi di segnali elettroencefalografici (EEG). Dopo aver definito – durante la tesi magistrale - un metodo originale di classificazione per particolari “potenziali evento-correlati (P300)” relativi ad uno studio di stimolazione cognitiva basata su odd-ball acustico a 2 suoni valutato su pazienti con sclerosi laterale amiotrofica (SLA), il mio lavoro di ricerca si è concentrato sullo studio di tracciati relativi ad un periodo di pre e post stimolazione con Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) applicata ad un gruppo di soggetti in stato vegetativo (VS) o di minima coscienza (MCS) confrontandone i risultati con un gruppo di controllo. Successivamente, ho portato avanti la collaborazione con il team clinico dell'IRCCS formato da fisioterapisti, neurologi, psicologi, ingegneri e tecnici di neurofisiopatologia per un progetto di riabilitazione motoria dell'arto superiore rivolto a soggetti reduci da

ictus mediante l'utilizzo di un sistema di Brain Computer Interface (BCI).

Da aprile 2013, la proficua collaborazione tra il Dipartimento e l'IRCCS si è ulteriormente consolidata in una collaborazione tra l'ospedale e uno spin-off del Dipartimento, la Next Step Endoscopy s.r.l. Quest'azione ha consentito di partecipare ed ottenere un finanziamento regionale nell'ambito del Progetto POR CRO parte FESR 2007-2013 Azione 3.1.1. in seguito al quale ho firmato un contratto di collaborazione a progetto con la Next Step Endoscopy s.r.l. per lo “Studio di un'innovativa metodologia di analisi dei tracciati elettroencefalografici umani e sviluppo delle relative routine software”.

Il progetto, perfettamente in linea con il mio progetto di dottorato, è stato sviluppato come in precedenza in parte presso la clinica veneziana dove sono stati reclutati e valutati i soggetti sani e quelli patologici sottoposti all'esperimento e in parte presso il Dipartimento dove si è svolta l'analisi dei segnali elettroencefalografici e dei risultati prodotti al termine della sperimentazione.

Durante questo periodo sono sorte delle criticità in merito al protocollo sperimentale esistente e all'elaborazione online dei tracciati EEG da cui estrarre le features essenziali per il controllo del sistema di riabilitazione motoria. A questo scopo è stata preliminarmente effettuata una metodica ed estensiva valutazione delle caratteristiche dei segnali EEG ottenuti durante l'esperimento e, successivamente, è stata messa a punto una nuova metodologia per elaborare il segnale EEG in tempo reale in modo più efficace grazie a:

- l'implementazione di un algoritmo -basato su non linearità- di detection di particolari tipi di artefatto che possono compromettere la rimanente elaborazione;
- l'implementazione di un filtro reale ottimale;
- l'utilizzo di un filtraggio spaziale consistente nel ricavare il campo elettrico esistente tra elettrodi vicini, invece dell'usuale differenza di potenziale, consentendo oltretutto di aumentare il rapporto segnale-disturbo relativo alla rete;
- la valutazione di una feature legata al movimento (desincronizzazione movimento-correlata) riconosciuta significativa già un secondo e mezzo prima dello stesso, non solo nei soggetti sani, ma anche nei soggetti patologici reclutati.

Il progetto sviluppato consentirà di integrare nella strumentazione esistente un software più efficace per il trattamento riabilitativo: infatti la nuova procedura permette di scegliere un set di features legate al movimento con maggior cognizione di causa grazie al precedente lavoro di classificazione e studio metodico effettuato sui tracciati relativi all'esperimento, di dare un feedback al soggetto sottoposto al trattamento più efficace, grazie alla precoce (un secondo e mezzo di anticipo) detection del fenomeno di desincronizzazione, e infine individualizzare il training in base alla scelta delle features più significative per il particolare paziente all'interno del set di features generalmente legate al movimento e individuate nelle fasi precedenti.

Il lavoro di tesi, specificatamente, si incentra essenzialmente sullo sviluppo -e sua descrizione- della metodologia di analisi certosa del segnale EEG relativo alle sessioni di trattamento BCI effettuate dai pochi soggetti a disposizione per lo studio, in parte soggetti di controllo e in parte pazienti con lievi esiti di ictus che ha compromesso alcune loro funzioni motorie.

In futuro, si vorrebbe procedere con l'integrazione di un sistema EMG per supportare l'analisi della cinematica del movimento ancora non sufficientemente chiara in base al solo tracciato EEG. Inoltre, le nascenti collaborazioni tra diversi gruppi di ricerca all'interno del Dipartimento e il continuo confronto con gruppi analoghi nel resto del Paese e del mondo dovrebbero permettere di implementare al meglio anche la parte robotica, in modo che essa possa essere guidata in modo preciso ed efficace dall'attività cerebrale del soggetto e porti quindi ad un sistema di riabilitazione motoria davvero imprescindibile nella pratica clinica di ogni Istituto di riabilitazione, lasciando quindi poi spazio alla prossima sfida per il mondo delle ICT in campo medico, ovvero la portabilità di tale sistema a casa del paziente.

Titolo definitivo della tesi finale:

*Movement-Related Desynchronization in Brain-Computer Interface applications for stroke motor rehabilitation.*

Supervisore: Prof. Silvano Pupolin

### Parte 3: Pubblicazioni

- Pubblicazioni su rivista internazionale:

- **Cisotto G.**, Cavinato M., Piccione F. and Pupolin S., *An EEG-based BCI platform to improve arm reaching ability of chronic stroke patients by means of an operant learning training with a contingent force feedback*, International Journal of E-Health and Medical Communications, 2013. (submitted)
- **Cisotto G.**, Piccione F. and Pupolin S., *Brain-Computer Interface technology in motor rehabilitation of stroke*, Journal of Computer Industry, Special Issue on IT in Healthcare, 2013. (extended abstract preliminarily accepted)
- Silvoni S., Cavinato M., Volpato C., **Cisotto G.**, Genna C., Agostini M., Turolla A., Ramos-Murguialday A. and Piccione F., *Kinematic and neurophysiological consequences of an assisted-force-feedback brain-machine interface training: a case study*, Front. Neurol., 2013. (accepted)
- Silvoni S., Ramos-Murguialday A., Cavinato M., Volpato C., **Cisotto G.**, Turolla A., Piccione F. and Birbaumer N. *Brain-computer interface in stroke: a review of progress*, Clinical EEG and neuroscience 10/2011; 42(4):245-52.

- Pubblicazioni su rivista nazionale: /

- Atti di conferenze:

- **Cisotto G.** and Pupolin S., *Real-time detection of electroencephalographic electrode displacement for brain-computer interface applications* (IEEE International Conference on Communications, Sidney, Australia, 2014, submitted).
- **Cisotto G.**, Piccione F. and Pupolin S., *Brain-Computer interface systems in the rehabilitation of chronic stroke patients with no cognitive impairments*, Proceedings of 9<sup>th</sup> International Euro-Mediterranean Medical Informatics and

- Telemedicine Conference EMMIT, Nador, Marocco, 2013 (to be published on IJBMiEH).
- **Cisotto G.**, Silvoni S., Piccione F. and Pupolin S., *An application of Brain-Computer Interface in chronic stroke to improve arm reaching function exploiting Operant Learning strategy and neuroplasticity*, Proceedings of 15<sup>th</sup> IEEE Healthcom, Lisbon, Portugal, 2013, pp. 261-263.
  - **Cisotto G.**, Silvoni S., Piccione F., Cavinato M., Agostini M. and Pupolin S., *Brain-Computer Interface in Chronic Stroke: An Application of Sensorimotor Closed-Loop and Contingent Force Feedback*, Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Budapest, Hungary, 2013, pp. 2972-2976.
  - Silvoni S., Genna C., **Cisotto G.**, Cavinato M., Volpato C., De Massari D., Cattin D., *Comparison of Vibro-tactile ERPs Classification Methods*, Proceedings of TOBI Workshop IV, 2013, pp. 85-86.
  - Cavinato M., Di Bono M.G., **Cisotto G.**, Genna C., Marangon M., Zorzi M. and Piccione F., *Effects of transcranial direct current stimulation on the EEG spectral power of vegetative state patients*, Archives italiennes de biologie. 01/2011; 149(3):S29.
- Capitoli di libro:
- ♣ Pupolin S., **Cisotto G.** and Piccione F., Chapter *EEG signal processing for post-stroke motor rehabilitation* in The 2<sup>nd</sup> Conasense Book, 2013. (in preparation)
- Presentazioni a convegni internazionali:
- J6. 9<sup>th</sup> International Euro-Mediterranean Medical Informatics and Telemedicine Conference EMMIT, Nador, Marocco, 21-23/10/2013 (oral presentation: *Brain-Computer interface systems in the rehabilitation of chronic stroke patients with no cognitive impairments*).
  - J7. 15<sup>th</sup> IEEE Healthcom, Lisbona, Portogallo, 9-13/06/2013 (poster: *An application of Brain-Computer Interface in chronic stroke to improve arm reaching function exploiting Operant Learning strategy and neuroplasticity*).
  - J8. IEEE International Conference on Communications, Budapest, Ungheria, 8-12/06/2013 (oral presentation: *Brain-Computer Interface in Chronic Stroke: An Application of Sensorimotor Closed-Loop and Contingent Force Feedback*).
- Presentazioni a convegni nazionali:
- ♣ XX Conferenza della Società Italiana di Psicofisiologia, Lido di Venezia, 22-24/11/2012 (poster: *Riabilitazione motoria post-ictus: considerazioni preliminari sull'efficacia di un feedback propriocettivo contingente all'attività elettroencefalografica*).
  - ♣ XIX Conferenza della Società Italiana di Psicofisiologia, Brescia, 14-16/11/2011 (poster: *Effects of transcranial direct current stimulation on the EEG spectral power of vegetative state patients*).
  - ♣ XVIII Conferenza della Società Italiana di Psicofisiologia, Palermo, 24-26/11/2010 (poster: *Changes in the brain spontaneous bioelectrical activity during transcranial electrical stimulation*).

- Seminari svolti:

- *Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus*, DEI, 10/09/2013.
- *Elaborazione dei segnali elettroencefalografici con applicazione alla neuro-riabilitazione post-ictus*, IRCCS San Camillo, Lido di Venezia, 23/07/2013.
- *EEG based Brain-Computer Interface in Chronic Stroke: the San Camillo application for closing the sensorimotor loop with a contingent force feedback*, IRCCS San Camillo, Lido di Venezia, 04/03/2013.
- *Riabilitazione post-ictus: considerazioni preliminari sull'efficacia di un feedback propriocettivo contingente con l'attività cerebrale*, IRCCS San Camillo, Lido di Venezia, 08/11/2012.

- Presentazioni a workshop o scuole di dottorato:

- ▲ Summer School of Information Engineering, Bressanone, 1-5/07/2013 (Best Oral Presentation Award: *Brain Computer Interface (BCI) in chronic stroke patients: an application of sensorimotor closed-loop and contingent force feedback*).
- ▲ CSN School of Neurophysiology Techniques, Padova, 14-18/03/2011 (poster: *Statistical analysis of neurological signals with application to the clinical diagnosis*)

Altro:

Contratto di Collaborazione a Progetto presso l'I.R.C.C.S. San Camillo di Lido di Venezia (10/05/2010 – 31/03/2013) sui seguenti progetti:

- Linea di ricerca n. 2, progetto n. 2, *Sviluppo di tecniche di Machine Learning (ML) per la decodifica del segnale EEG ed fMRI registrato nei pazienti in stato vegetativo e di minima coscienza*, responsabile: Dott. Francesco Piccione.
- Linea di ricerca n. 2, progetto n. 9, *Implementazione di un sistema Brain-Machine Interface (BMI) per la riabilitazione dello Stroke*, responsabile: Dott. Francesco Piccione.

Contratto di Collaborazione a Progetto con Next Step Endoscopy s.r.l., Padova (01/04/2013-31/03/2014) sul seguente progetto:

- *Studio di un'innovativa metodologia di analisi dei tracciati elettroencefalografici umani e sviluppo delle relative routine software*.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **CISOTTO Giulia** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **DALL'ARCHE Alberto** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **DALL'ARCHE Alberto** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

## **Parte 1 Didattica**

Corsi seguiti 2011

- *Introduction to Quantum Optics I: quantum information and communication* (Prof. Sergienko)
- *Introduction to Quantum Optics II: quantum measurement, imaging, and metrology* (Prof. Sergienko)
- *Statistical Methods* (Prof. Finesso)
- *Applied Linear Algebra* (Proff. Damm and Wimmer)
- *Information-theoretic Methods in Security* (Prof. Laurenti)

Corsi seguiti 2012 (uditore)

- *Progettazione Ottica*, presso il Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali di Padova, relatore Vania Da Deppo, 3 – 18 settembre 2012
- *Topics in Quantum Information*, Prof. F.Ticozzi, 13 febbraio 2012 – 7 marzo 2012, DEI

Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- V Scuola nazionale su *Rivelatori ed elettronica per fisica delle Alte energie, Astrofisica, Applicazioni Spaziali e Fisica Medica*, INFN Laboratori Nazionali di Legnaro, 15-19 Aprile 2013

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- Giuseppe Vallone. *Quantum computation and simulation with photons*. 17 Gennaio 2011 - DEI
- Mathieu Bloch. *Physical-Layer Security*. 17 Febbraio 2011 - DEI
- Mathieu Bloch. *Mechanisms of Physical-Layer Security*. 3 Marzo 2011 - DEI
- Paolo Villorosi, Stefano Buratin. *Processi Laser per le Tecnologie Fotovoltaiche*. 21 Ottobre 2011 -DEI
- Marco Bellini - *Probing and manipulating the quantum nature of light*. 27 ottobre 2011
- Lorenza Viola - *Quantum state stabilization with quasi-local Markovian dissipative dynamics*, 2 febbraio 2012 – DEI
- Paolo Mataloni - *Multipath and polarization entanglement of photons*, – 23 febbraio 2012 – DEI

- Giuseppe Castagnoli - *Probing the mechanism of the quantum speed-up by time-symmetric quantum mechanics*, 16 aprile 2012 – DEI
- Albrecht Bartels - *Precision THz time-domain spectroscopy with two offset linked frequency combs*, 19 Settembre 2012 – DEI
- Robert Williams - *The scientific legacy of Hubble space telescope*, 10 ottobre 2012 – DEI
- Marinko Sarunic - *Adaptive optics optical coherence tomography for in vivo mouse retinal imaging*, 30 luglio 2013 – DEI
- Francesco Renna - *Fundamental limits in compressive sensing of GMM sources*, 6 settembre 2013 - DEI

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- *QuantumSnow (meeting progetto QuantumFuture)*. Osservatorio di Asiago, Vicenza, 20-23 Febbraio 2011.
- *IQIS, 5th Italian Quantum Information Science Conference*, 26-28 settembre 2012 – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
- *IQIS, 6th Italian Quantum Information Science Conference*, 24-26 settembre 2013 – Università dell'Insubria – Como, oral talk: *Experimental demonstration of B92 protocol with non-maximally entangled photons*

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- *NDES 2013, Nonlinear Dynamics of Electronic Systems 2013* - Bari, oral talk: *Feasibility demonstration of device independent ent-B92 protocol with non-maximally entangled photons*

#### Proposte di esperimento:

- Bacco Davide, Bosi Franco, Dall'Arche Alberto, Mantellato Riccardo, Marangon Davide G., Sarego Giulia, Stanco Andrea, “**Bell's Inequality Test in Space (BITS)**” – REXUS/BEXUS Experiment Proposal - ESA

#### Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- Laboratorio di Fisica 1, Prof. Martin (6 ore) A.A. 2011-2012
- Laboratorio di Fisica 1, Prof. Lenzi (6 ore) A.A. 2011-2012
- Laboratorio di Elettronica Quantistica, Prof. Villoresi (2 ore) A.A. 2011-2012
- Laboratorio di Fisica 1, Prof. Gibin (6 ore) A.A. 2012-2013
- Laboratorio di Fisica 1, Prof. Lenzi (18 ore) A.A. 2012-2013

## Parte 2 Ricerca

**Titolo della tesi: ADVANCED TECHNIQUES FOR QUANTUM COMMUNICATIONS IN FREE-SPACE CHANNELS**

**Supervisore: Ch.mo Prof. Paolo Villoresi**

Quantum Communications (QC) and in particular Quantum Key Distribution (QKD) are a new paradigm of the secure communication. The great advantage of this kind of communication respect to classical ones is properly the unconditionally security. Indeed,

contrarily to classical communications, QC base the security upon inviolable principles of quantum mechanics.

During my Ph.D. research activity I investigated first the characteristic and the behaviour of an horizontal free-space quantum channel. This kind of channel is useful to make point to point communications over long distances on the earth since optical fibers was proven to be limited to few tens of kilometres. I focused particularly in the study of atmospheric turbulence that affect the losses of the channel and also, as I measured, the light statistic. The experiments were taken by means of a free space optical link (143Km) between Tenerife and La Palma Islands of the Canary archipelagos. The results revealed that there is a strong interaction between atmospheric turbulence and the photon statistics. In fact we demonstrated that the atmospheric channel change the statistic of the photons from a poissonian one to a log-normal one. This outcome allows to envisage the exploitation of turbulence as a Signal to Noise Ratio improving technique.

In the second part of my research activity I took in consideration the security of QKD protocols. I carried out an experimental demonstration of the B92 protocol with non-maximally entangled photon states. I designed and realized the experimental setup considering in particular the compactness and the reliability of the system. The source of non-maximally entangled state was set with two overlapped Type-I nonlinear BBO crystal pumped by a pulsed laser at 405 nm, 10 ps of impulse duration and 76 MHz of repetition rate. The different non-maximally entangled states were generated by varying the linear polarization of the pump. The state analyser consisted on simple linear optics and two single photon avalanche diode (SPAD). I made several measurements for different parameters to better analyze the whole behavior of the system. To best fit the experimental data with the theoretical curve I developed a specific noise model that take into account both white and coloured noises. The results prove that B92 protocol with non-maximally entangled state is unconditionally secure protocol and demonstrate the chance to have loophole-free EPR-locality violation with lower detection efficiencies respect to standard QKD protocols. In particular, with our measurements we reach positive key rate also with efficiencies below the ones in entangled based BB84 QKD protocol.

Finally in the last part of my research activity I investigated a possible way to improve the quantum channel capacity exploiting hyperentangled photon pairs. Hyperentanglement, that is entanglement in more than one degree of freedom (DOF), represent a great resource for Quantum Communication and Quantum Key Distribution because offer many advantages on security and channel capacity enhancement. One of the main problem in the non-locality tests is the so-called detection loophole. With hyperentanglement in two DOF it is possible to reach a detection threshold of 61.8 %, therefore it's possible to take a loophole free test with efficiencies lower than the one with non-maximally entangled states. Hyperentanglement was demonstrated also to increase the violation of the EPR local realism thus further enhancing the security in QKD protocols.

Dense coding, proposed in were experimentally demonstrated using entangled photon pairs and simple linear optics. This kind of realizations unfortunately does not permit to fully exploit the channel capacity, indeed the best capacity reached was 1.585 bits.

Hyperentanglement can be a resource also in dense coding, in fact enables a complete Bell State discrimination. Respect to this I designed and experimentally tested a system

that can be used to transmit hyperentangled states at long distances. The main difficulties were in the stabilization of the three Michelson interferometers inside the experiment. The solutions which were adopted are:

- shortening of the interferometer arms length
- substitution of the micrometric translations stages with motorized stages with nanometric sensibility
- design and realization of a feedback system

The quality of the received states were evaluated making their tomography and measuring entanglement witness and fidelity. This setup then may be used to enhance the capacity of a QKD channel using hyperentangled photon states.

### Parte 3 Pubblicazioni

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- Vallone Giuseppe, Dall'Arche Alberto, Tomasin Marco, and Villoresi Paolo, “**Loss tolerant device-independent quantum key distribution**” arXiv preprint arXiv:1310.6664 (2013), submitted for publication to Physical Review Letters
- Ivan Capraro, Andrea Tomaello, Alberto Dall'Arche, Francesca Gerlin, Rupert Ursin, Giuseppe Vallone, and Paolo Villoresi, “**Impact of turbulence in long range quantum and classical communications**”, Physical Review Letters, vol. 109, no. 20, p. 200502, 2012.

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- Ivan Capraro, Andrea Tomaello, Alberto Dall'Arche, Francesca Gerlin, Giuseppe Vallone, and Paolo Villoresi, “**Long range beam propagation for quantum communications**” *Proc. SPIE* 8246, Free-Space Laser Communication Technologies XXIV, 82460H (February 9, 2012); doi: 10.1117/12.916078
- A. Tomaello, A. Dall'Arche, F. Gerlin, I. Capraro, G. Vallone, and P. Villoresi, “**Experimental studies toward the quantum communications with orbiting terminals**” in Quantum Information and Measurement, Optical Society of America, 2012.
- G. Vallone, P. Villoresi, I. Capraro, A. Dall'Arche, A. Tomaello, and F. Gerlin, “**Experimental study of free-space beam propagation for single-photon quantum communications**” in Quantum Information and Measurement, Optical Society of America, 2012.
- A. Tomaello, A. Dall'Arche, G. Naletto, and P. Villoresi, “**Intersatellite quantum communication feasibility study**” in SPIE Optical Engineering+ Applications, pp.16309– 816309, International Society for Optics and Photonics, 2011.

- I. Capraro, A. Tomaello, A. Dall'Arche, and P. Villoresi, “**Long-range beam propagation for single-photon communications**” in SPIE+ Optical Engineering Applications, pp. 81610C–81610C, International Society for Optics and Photonics, 2011.
- R. Corvaja, I. Capraro, A. Dall'Arche, N. D. Pozza, F. Gerlin, A. Tomaello, M. Zorzi, A. Assalini, A. Ferrante, G. Pierobon, et al., “**Engineering a long distance free-space quantum channel**” in Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, p. 187, ACM, 2011.
- A. Tomaello, A. Dall'Arche, I. Capraro, G. Naletto, and P. Villoresi, “**The space as frontier for global quantum communications**” in Information Photonics (IP), 2011 ICO International Conference on, pp. 1–2, IEEE, 2011.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **DALL'ARCHE Alberto** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **DE SANTI Carlo** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **DE SANTI Carlo** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **Parte 1 Didattica**

#### Corsi seguiti

- Corso: Applied Linear Algebra crediti: 4
- Corso: Introduction to Quantum Optics I:  
quantum information and communication crediti: 3
- Corso: Introduction to Quantum Optics II:  
quantum measurement, imaging and metrology crediti: 3
- Corso: Electrostatic Discharge in Integrated Circuits crediti: 5
- Corso: Statistical Methods crediti: 6
- Corso: Physical models for the numerical simulation  
of semiconductor devices crediti: 5

#### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- Scuola estiva in Ingegneria dell'Informazione su "Sensori e reti di sensori", Luglio 2013
- Scuola estiva in Ingegneria dell'Informazione su "Tecnologie rispettose dell'ambiente per il risparmio energetico", Luglio 2012

#### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- My life in Silicon Valley, Distinguished Lecture series, Dr. Federico Faggin
- "Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED", palazzo del Bo
- Workshop Ricerca e industria del fotovoltaico in Italia, 10 Febbraio 2012, Palazzo del Bo
- Distinguished Lecturer Series, DEI

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- WOCSDICE 2011
- HETECH 2011

- ISROS 2012
- HETECH 2012
- WOCSDICE 2013
- ESREF 2013

## **Parte 2 Ricerca**

### Attività scientifica

L'attività di ricerca svolta si è concentrata prevalentemente in sei campi, e ha comportato, oltre all'attività sperimentale, un approfondimento delle nozioni teoriche alla base dei dispositivi e dei fenomeni analizzati, l'acquisizione di strumentazione e la realizzazione di setup adatti alle investigazioni necessarie, l'acquisizione delle conoscenze necessarie per la produzione di software adatto a controllare in modo adeguato ed automatizzato la strumentazione e a consentire una rapida e completa analisi dei dati raccolti.

### **1. Transistor ad iniezione di corrente di gate (GIT)**

I GIT sono dei transistor ad alta mobilità elettronica con tensione di soglia positiva, forniti da Panasonic corporation, depositaria del relativo brevetto internazionale.

Oltre alle caratterizzazioni elettriche di base (curve di uscita, curve di transconduttanza, diodi di gate) sono stati effettuati test di risposta all'intrappolamento (double pulse, transienti di corrente di drain, sweep di frequenza di gate, backgating) e misure di elettroluminescenza, per caratterizzare completamente i dispositivi in previsione del passo successivo. Sono stati effettuati degli stress-test dei dispositivi per vari valori di tensione (in on-state e semi-on-state), degli step-stress su varie famiglie di dispositivi e degli stress a limite di potenza, per identificare la regione operativa consigliata e le cause del degrado a partire dalle cinetiche dei vari parametri e per verificare la bontà del processo di evoluzione. Tutte le misure sono state ripetute anche sulle nuove famiglie di dispositivi. Sono state inoltre effettuate misure di trapping e detrapping in temperatura con varie tecniche per estrarre le energie di attivazione degli stati trappola.

I risultati principali ottenuti si possono riassumere nell'estrazione della relazione tra tensione di breakdown, lunghezza del field-plate e distanza gate-drain, nell'estrazione dell'energia di attivazione di alcuni stati trappola presenti all'interno dei dispositivi (0.16 eV, 0.47 eV), nell'estrazione della resistenza termica, nell'analisi delle problematiche relative all'affidabilità e alla risposta a differenti frequenze operative.

### **2. Transistor con differenti materiali di gate**

Questi dispositivi, forniti dall'Università di California di Santa Barbara, sono situati su un unico wafer, e quindi presentano la medesima struttura epitassiale. Si differenziano per i diversi parametri dimensionali e per i differenti materiali che

compongono lo stack di gate.

Su questi transistor sono state svolte prove di robustezza ad elevati campi elettrici nella regione gate-drain (step-stress, misure di elettroluminescenza). In questo modo, si è ottenuta una descrizione delle variazioni nei parametri fisici, in particolare dell'isolamento tra il contatto di gate e la regione in cui si forma il canale elettronico. Dai dati ottenuti sono state proposte ipotesi sul meccanismo responsabile del degrado, tenendo conto dei diversi andamenti al variare della composizione.

### **3. Transistor metallo – isolante – semiconduttore (MIS)**

I dispositivi in esame, forniti dal centro R&D di Panasonic corporation, consistono in transistor ad alta mobilità elettronica (HEMT), con tensione di soglia negativa ed uno strato di isolante tra contatto di gate e canale.

Lo scopo dell'attività svolta è di ottenere una caratterizzazione iniziale di questi dispositivi, sviluppati recentemente dal partner, e di identificarne le performances e la stabilità rispetto a fenomeni di intrappolamento e a test di vita accelerata. Per raggiungere l'obiettivo sono state effettuate varie tipologie di misurazioni: curve di uscita, curve di transconduttanza, capacità del diodo di gate

### **4. Irraggiamento con protoni di LED commerciali**

I dispositivi sotto analisi sono LED commerciali sviluppati da diversi produttori e di varie tecnologie e lunghezze d'onda nominali.

Questi dispositivi sono stati sottoposti ad elevate fluenze di protoni tramite un acceleratore lineare di particelle, e ne è stato analizzato il degrado delle performances elettriche e ottiche e le variazioni nelle misurazioni capacitive. Sono stati inoltre effettuati dei test di recovery ad elevata temperatura per meglio caratterizzare il tipo di danno generato. I risultati ottenuti sono stati raccolti ed analizzati per ottenere una comprensione del meccanismo di degrado e sottoposti all'attenzione della comunità scientifica internazionale.

Si sono trovate prove sperimentali della creazione di centri di ricombinazione non radiativa nella regione attiva dei LED a causa dello spostamento di atomi del reticolo cristallino. Questa interpretazione si basa su (i) l'aumento della corrente diretta al di sotto della tensione di turn-on, (ii) il calo improvviso di potenza ottica e (iii) la buona correlazione tra il fattore di idealità del diodo, la carica di giunzione stimata con misure capacità-tensione e l'intensità dell'emissione nella banda parassita giallo-verde. I risultati sono confermati dai test di recovery, che mostrano (iv) un graduale recupero delle caratteristiche elettriche ed ottiche dei dispositivi.

### **5. Diodi Natural Super Junction (NSJ)**

I dispositivi in esame, forniti dal centro R&D di Panasonic corporation, consistono in diodi a giunzione naturale su GaN, dotati di elevata robustezza alle alte tensioni.

Lo scopo dell'attività svolta è di ottenere una caratterizzazione iniziale di questi dispositivi, sviluppati recentemente dal partner, e di identificarne le performances e la stabilità rispetto a fenomeni di intrappolamento e a test di vita accelerata. Per raggiungere l'obiettivo sono state effettuate varie tipologie di misurazioni: curve tensione corrente, transienti di intrappolamento e detrappolamento sotto luce monocromata ed in temperatura, stress-test e step-stress.

## 6. Diodi laser

I dispositivi in esame sono diodi laser commerciali per applicazioni di segnale. Lo scopo dell'attività svolta è di ottenere una caratterizzazione iniziale di questi dispositivi e di identificarne le performances e la stabilità rispetto a test di vita accelerata a vari livelli di polarizzazione e di temperatura ambientale. Per raggiungere l'obiettivo sono state effettuate varie tipologie di misurazioni: curve tensione corrente, caratterizzazione capacitiva, misurazione della potenza ottica e stress-test. Si è verificata la presenza di un miglioramento iniziale dovuto all'attivazione del drogante nel materiale di tipo p seguito da un calo delle caratteristiche dovuto alla generazione di difetti.

### Titolo definitivo della tesi:

Degradation mechanisms of devices for optoelectronics and power electronics based on gallium nitride heterostructures.

### Supervisore:

Gaudenzio Meneghesso

## **Parte 3 Pubblicazioni**

### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

1. M. Meneghini, C. De Santi, N. Trivellin, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Investigation of the deep level involved in InGaN laser degradation by deep level transient spectroscopy", Appl. Phys. Lett. 99, 093506 (2011), DOI:10.1063/1.3626280
2. N. Trivellin, M. Meneghini, C. De Santi, S. Vaccari, G. Meneghesso, E. Zanoni, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, "Degradation of InGaN lasers: Role of non-radiative recombination and injection efficiency", Microelectronics Reliability 51, 1747–1751, 2011, DOI:10.1016/j.microrel.2011.07.038
3. Meneghini, M.; de Santi, C.; Ueda, T.; Tanaka, T.; Ueda, D.; Zanoni, E.; Meneghesso, G.; "Time- and Field-Dependent Trapping in GaN-Based Enhancement-Mode Transistors With p-Gate," Electron Device Letters, IEEE , vol.33, no.3, pp.375-377, March 2012, doi: 10.1109/LED.2011.2181815.
4. G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Stocco, D. Bisi, C. de Santi, I. Rossetto, A. Zanandrea, F. Rampazzo, E. Zanoni, Degradation of AlGaIn/GaN HEMT devices: Role of reverse-bias and hot electron stress, Microelectronic Engineering, Volume

- 109, September 2013, Pages 257-261, ISSN 0167-9317, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2013.03.017>.
5. Bisi, D.; Meneghini, M.; de Santi, C.; Chini, A.; Dammann, M.; Bruckner, P.; Mikulla, M.; Meneghesso, G.; Zanoni, E., "Deep-Level Characterization in GaN HEMTs-Part I: Advantages and Limitations of Drain Current Transient Measurements," *Electron Devices, IEEE Transactions on*, vol.60, no.10, pp.3166,3175, Oct. 2013. doi: 10.1109/TED.2013.2279021
  6. C. de Santi, M. Meneghini, S. Carraro, S. Vaccari, N. Trivellin, S. Marconi, M. Marioli, G. Meneghesso, E. Zanoni, Variations in junction capacitance and doping activation associated with electrical stress of InGaN/GaN laser diodes, *Microelectronics Reliability*, Volume 53, Issues 9–11, September–November 2013, Pages 1534-1537, ISSN 0026-2714, <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2013.07.053>.

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

1. C. De Santi, M. Meneghini, N. Trivellin, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Electro-Optical analysis of the degradation of advanced InGaN-laser structures", 35th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits, WOCSDICE 2011, pp. 195-196, 29 Maggio - 1 Giugno, Catania - Italy, 2011. ISBN:978-88-8080-123-8
2. M. Meneghini, C. De Santi, N. Trivellin, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Identification of the deep level involved in InGaN-laser degradation by means of Deep-Level Transient Spectroscopy", oral presentation at the ICNS-9 Conference, July 10-15 2011, Glasgow, UK
3. M. Meneghini, C. De Santi, T. Ueda, T. Tanaka, D. Ueda, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Time and field-dependent trapping in AlGaIn/GaN E-mode transistors", oral presentation at the ICNS-9 Conference, July 10-15 2011, Glasgow, UK
4. N. Trivellin, M. Meneghini, C. De Santi, S. Vaccari, G. Meneghesso, E. Zanoni, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, "Degradation of InGaN lasers: Role of non-radiative recombination and injection efficiency", oral presentation at the 22nd european symposium on the reliability of electron devices, failure physics and analysis, ESREF 2011, 3-7 October 2011, Bordeaux, France
5. C. De Santi, M. Meneghini, G. Meneghesso, U. K. Mishra, S. Lal, and E. Zanoni, "Gate material - dependent degradation of reverse biased GaN HEMTs", oral presentation at the 20th European workshop on Heterostructure Technology, HeTech 2011, 7-9th November 2011, Lille, France
6. M. Meneghini; C. de Santi; N. Trivellin; G. Meneghesso; E. Zanoni; S. Takigawa; K. Orita; T. Tanaka; D. Ueda, "Analysis of the deep level responsible for the degradation of InGaN-based laser diodes by DLTS", oral presentation at the 2012 SPIE Photonics West, 21–26 January 2012, San Francisco, California, USA.
7. M. Meneghini; C. de Santi; N. Trivellin; K. Orita; S. Takigawa; T. Tanaka; D. Ueda; G. Meneghesso; E. Zanoni, "Analysis of the deep level responsible for the degradation of InGaN-based laser diodes by DLTS", *SPIE Proceedings Vol. 8262*, 9 February 2012, ISBN: 9780819489050, DOI: 10.1117/12.906551

8. M. Meneghini, A. Stocco, M. Bertin, C. de Santi, F. Rampazzo, D. Marcon, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Degradation of AlGaIn/GaN HEMTs below the "critical voltage": a time-dependent analysis", oral presentation at the CSManTech 2012
9. Carlo De Santi, Matteo Meneghini, Nicola Trivellin, Simone Gerardin, Marta Bagatin, Alessandro Paccagnella, Gaudenzio Meneghesso, Enrico Zanoni, "Defect generation in blue InGaIn-based LEDs induced by proton irradiation", oral presentation at the 3rd International Symposium on Reliability of Optoelectronics For Space, ISROS 2012, 1-5th October 2012, Cagliari, Italy
10. Carlo De Santi, Matteo Meneghini, Nicola Trivellin, Simone Gerardin, Marta Bagatin, Alessandro Paccagnella, Gaudenzio Meneghesso, Enrico Zanoni, "Proton irradiation and generation of defects in blue InGaIn-based LEDs", oral presentation at the 21th European workshop on Heterostructure Technology, HeTech 2012, 5-7th November 2012, Barcelona, Spain
11. Meneghesso, G.; Zanandrea, A.; Stocco, A.; Rossetto, I.; de Santi, C.; Rampazzo, F.; Meneghini, M.; Zanoni, E.; Bahat-Treidel, E.; Hilt, O.; Ivo, P.; Wuerfl, J., "GaIn-HEMTs devices with single- and double-heterostructure for power switching applications," Reliability Physics Symposium (IRPS), 2013 IEEE International , vol., no., pp.3C.1.1,3C.1.7, 14-18 April 2013. doi: 10.1109/IRPS.2013.6531983
12. C. De Santi, M. Meneghini, N. Trivellin, S. Gerardin, M. Bagatin, A. Paccagnella, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Generation of defects and thermal recovery of blue InGaIn-based LEDs after proton irradiation", proceedings of WOCSDICE 2013.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **DE SANTI Carlo** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **FINOTELLO Francesca** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **FINOTELLO Francesca** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

Titolare di borsa di studio CARIPARO dal titolo: **RNA sequencing for quantitative transcriptomics**

#### Parte I Didattica

Corsi seguiti

- **Introduction to Infographics and Data Visualization**. Prof. Alberto Cairo. MOOC del Knight Center for Journalism in the Americas, University of Texas at Austin, USA. Ottobre – novembre 2013.
- **Gestire la bibliografia con Refworks**. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 5 luglio 2012.
- **Seminars Towards Enterprise for Ph.D Students**. Confindustria Padova, Padova.  
*Modulo: Organizzazione & Lavoro:* 10 maggio, 24 maggio e 7 giugno 2012.  
*Modulo: Strumenti & Metodi:* 21 giugno, 5 luglio e 19 luglio 2012.
- **ABC del Business Plan**. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. Aprile – maggio 2012.
- **Human-Computer Interaction**. Prof. Scott Klemmer. Coursera, Stanford University, USA. Maggio – luglio 2012.
- Vincitrice corso EMBO a numero chiuso: **Bioinformatics and Comparative Genome Analyses**. Parigi, Francia. 27 giugno - 9 luglio 2011.
- **Algorithms for Bioinformatics and Computational Biology**, Prof. A. Apostolico e Prof. C. Guerra (EST007, AA. 2010-2011).
- **Applied Linear Algebra**, Prof. T. Damm e Prof. H. Wimmer (DEI002, AA. 2010-2011).
- **Dose, Effect, Threshold**, Prof. A. Trevisan (DEI048, AA. 2010-2011).
- **Dynamical Models in Systems Biology**, Prof. C. Altafini (DEI61, AA. 2010-2011).
- **Statistical Methods**, Prof. L. Finesso (DEI057, AA. 2010-2011).

Workshop seguiti:

- **SUMMIT Plenary Meeting 2013**. Boehringer Ingelheim, Biberach, Germania. 27 -28 febbraio 2013.
- **SUMMIT Plenary Meeting 2012**. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 21-22 marzo 2012.
- **SUMMIT WP1 Exomes Meeting 2012**. Wellcome Trust Centre for Human Genetics, Oxford, UK. 18-19 gennaio 2012.
- **Calcolo Scientifico e Bioinformatica oggi**. Complesso Vallisneri, Università di Padova. 13 gennaio 2012.
- **Workshop: "Ingegneria, Life-sciences e spin-off"**. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 7 dicembre 2011.
- **SUMMIT WP5 Workshop**. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 4 novembre 2011.

- **6th annual DREAM on Reverse Engineering Challenges.** Barcellona, Spain. 14 Ottobre 2011.
- **Sequence Mapping and Assembly Assessment Project (SMAAP) RGASP3/dnGASP.** Barcellona, Spagna. 5-7 aprile 2011.

Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- XXXI Scuola Annuale di Bioingegneria: **Dalla ricerca al mercato: trasformare il risultato della ricerca in un prodotto.** Bressanone (BZ), Italia. 17-21 settembre 2012.
- XXX Scuola Annuale di Bioingegneria: **Neuroinformatica**, Bressanone (BZ), 19-23 settembre 2011
- **PhD Summer School on Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering** Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 12-16 settembre 2011.

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- **Analysis of CHIP-seq and RNA-seq data.** Daniel Mateos. Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, Madrid, Spagna. 20 giugno 2013
- **Introduction to D3.** Christian Stolte. Broad Institute, Cambridge MA, USA. 19 marzo 2013.
- **Sviluppo di un sistema di analisi della variabilità intra-individuale dell'elettroencefalogramma per l'identificazione precoce di deficit cognitivi.** Costanza D'Avanzo e Giorgio Arcara. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 24 aprile 2012.
- **Epigenetic differences in muscle and fat from monozygotic twin pairs discordant for type 2 diabetes.** Emma Nilsson. Clinical Research Center, Malmo, Svezia. 10 Aprile 2012.
- **Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators.** Prof. Giuseppe De Nicolao. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 20 Marzo 2012.
- **From mechanotransduction to synthetic biology.** Dr. Leonardo Morsut. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 1 marzo 2012.
- **La frequenza alfa individuale dell'EEG: metodiche di stima e potenziali applicazioni.** Dr. Anahita Goljahani. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 29 febbraio 2012.
- **Computer Vision & Machine Learning.** Dr. Loris Nanni. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 28 febbraio 2012.
- **Calcium signaling underlying insulin secretion: insight from modeling?** Dr. Morten Gram Pedersen. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 31 gennaio 2012.
- **Computing with Evolving Data.** Prof. Eli Upfal. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 12 gennaio 2012.
- **Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality.** Dr. F. Turkheimer. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 8 novembre 2011.
- **Apprendimento automatico e Reti Neurali** (seminario del corso di Intelligenza Artificiale). Dr. Sambo Francesco. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 8 novembre 2011.
- **Towards Artificial/Computational Sapience (Wisdom)**, Dr. Rene V. Mayorga. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 2 novembre 2011
- **Survival of pancreatic beta cells is partly dependant on TCF7L2-p53-p53INP1 pathway.** Yuedan Zhou. Dept. of Clinical Sciences Diabetes and endocrinology CRC, Malmö, Svezia. 21 giugno 2011.
- **Computational Problems in Cancer Genomics**, Prof. Eli Upfal. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova. 18 maggio 2011.

Partecipazione a Conferenze Nazionali

- **Terzo Congresso del Gruppo Nazionale di Bioingegneria.** Università Roma Tre, Roma. 16-29 giugno 2012

Partecipazione a Conferenze Internazionali

- **VIZBI, Visualizing Biological Data.** Broad Institute, Cambridge MA, USA. 19-22 marzo 2013.

- **IDAMAP**, *Intelligent data analysis in biomedicine and pharmacology*. 22 novembre 2012, Pavia.
- **NETTAB**, *Integrated Bio-Search*, 14-16 novembre 2012, Como.
- **BITS 2012: IX Annual Meeting of the Bioinformatics Italian Society**. Università degli Studi di Catania, Catania, 2-4 maggio 2012.
- **6th annual DREAM on Reverse Engineering Challenges**. Barcellona, Spagna. 14 Ottobre, 2011.

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- Supporto alla didattica e didattica frontale per il laboratorio del corso di **Bioingegneria della Genomica**, Prof. Barbara Di Camillo (AA. 2012-2013).
- Tutorato per il corso di **Elaborazione di Segnali Biologici**, Prof. Gianna Toffolo (AA. 2012-2013).
- Tutorato per il corso di **Bioingegneria della Genomica**, Prof. Barbara Di Camillo (AA. 2011-2012).

Permanenza all'estero

Collaborazione di ricerca nell'ambito del progetto SUMMIT (Surrogate markers for micro- and macro-vascular hard endpoints for diabetes tools) con l'Università di Lund. Department of Clinical Sciences Diabetes and endocrinology CRC, Malmö, Sweden. Supervisore estero: Prof. Leif Groop  
Periodi: 9 aprile 2012 – 14 aprile 2012; 3 ottobre 2012 – 3 novembre 2012; 23 maggio - 13 giugno 2011.

Collaborazione di ricerca al Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC), di Madrid, (Spagna), nell'ambito del progetto "Integrative genomic and epigenomic approaches to further assess phenotype severity in Spinal Muscular Atrophy patients", coordinato dalla Prof.ssa Ana Dopazo González. Supervisore estero: Prof.ssa Fatima Sanchez Cabo.  
Periodo: 15 giugno 2013 – 4 novembre 2013

## Parte 2 Ricerca

Titolo della tesi: **Computational methods for the analysis of gene expression from RNA sequencing data**

Supervisore: Barbara Di Camillo

L'RNA-seq, ovvero il sequenziamento dell'RNA tramite tecnologie Next-Generation Sequencing (NGS), è una metodologia che si sta rapidamente sostituendo ai microarray per la quantificazione del trascrittoma. Un tipico esperimento di RNA-seq consiste nelle seguenti fasi: frammentazione dell'RNA, retro-trascrizione a DNA complementare e sequenziamento massivo. Il sequenziamento produce milioni di sequenze, chiamate *read*, che rappresentano piccole porzioni dell'RNA di partenza "lette" dal sequenziatore. Le *read* possono essere quindi mappate su un genoma di riferimento: il numero di *read* mappate su ciascun gene (*count*) dà una misura del suo livello di espressione nel campione d'interesse. Nel caso in cui i campioni sequenziati appartengano a tessuti o condizioni sperimentali differenti, i *count* possono essere confrontati utilizzando un test statistico per identificare i geni differenzialmente espressi, ovvero sovra/sotto-espressi, in una condizione rispetto all'altra. Nonostante l'ampio utilizzo di questa tecnologia, recenti studi hanno dimostrato la presenza di numerosi *bias* nei dati, dovuti soprattutto alla non-uniformità del *coverage* lungo i trascritti e alla dipendenza dei *count* dalla lunghezza dei geni in relazione ai quali sono calcolati. Sono per questo stati proposti in letteratura diversi metodi per la normalizzazione dei dati. Tuttavia, la rapidità con cui si è diffusa la tecnologia RNA-seq, non ha consentito l'affermarsi di una pipeline standard di analisi dei dati, ovvero la definizione dei metodi di riferimento per il *pre-processing* dei dati grezzi, per il calcolo dei *count* e per le successive fasi di normalizzazione e analisi differenziale. L'obiettivo di questo progetto di ricerca è proprio la definizione di una pipeline di analisi dei dati RNA-seq che sia robusta ai *bias* di sequenziamento. Nei paragrafi successivi sono presentate le fasi di studio o di analisi che hanno portato all'implementazione della pipeline di analisi finale, i risultati della sua applicazione ad un caso di studio reale e la pianificazione della fase di ottimizzazione finale della metodologia.

**Selezione di metodi mappaggio delle *read*.** Grazie allo studio della letteratura e alla partecipazione di progetti quali SMAAP 2011, si è appreso che i diversi software di mappaggio forniscono soluzioni diverse che possono portare a stime dei profili di espressione genica non confrontabili. Allo stato dell'arte sono disponibili numerosi software di mappaggio, suddivisibili in due categorie: metodi basati su *hash table* o su

trasformata Burrows-Wheeler (BWT). Per la pipeline di analisi finale si è scelto di utilizzare metodi BWT poiché computazionalmente più efficienti; in particolare, si sono considerati software basati su Bowtie, come TopHat e RSEM, poiché permettono di mappare le read anche in assenza di un trascrittoma di riferimento.

**Confronto e selezione di metodi per l'analisi differenziale.** Tra i test statistici più utilizzati per l'analisi dell'espressione differenziale da dati RNA-seq, vi sono metodi parametrici, in cui i dati vengono modellati con una distribuzione di Poisson o Binomiale Negativa (NB). La distribuzione di Poisson assume che i dati abbiano varianza uguale alla media, condizione che non sempre è verificata, soprattutto in dataset con repliche biologiche. In presenza di dati sovra-dispersi, ovvero quando la varianza è maggiore della media, è possibile utilizzare metodi basati su modello NB, che modella la varianza come  $\mu(1 + f(\mu, \phi))$ , dove  $\mu$  è la media e  $\phi$  è il parametro di dispersione che modula la relazione tra media e varianza. Abbiamo valutato e comparato quattro tra i principali metodi parametrici per l'analisi differenziale, basati su distribuzione di Poisson (PoissonSeq e DEGseq) o NB (edgeR e DESeq), utilizzando dati simulati e dati reali. Anche in presenza di sole repliche tecniche, i metodi basati su distribuzione NB sono caratterizzati da più alta sensibilità e precisione. edgeR, in particolare, presenta i risultati migliori su tutti i data set considerati ed è stato quindi selezionato per la nostra pipeline di analisi.

**Caratterizzazione di bias e variabilità tecnica dei dati e confronto di metodi di normalizzazione.** È ormai noto in letteratura che i dati di RNA-seq siano affetti da *bias* introdotti sia in fase sperimentale che nei successivi step di analisi computazionale. Tra i *bias* più immediati da valutare vi è la profondità di sequenziamento, ovvero il numero di *read* generate da un esperimento, che deve essere necessariamente tenuto in considerazione se si vogliono confrontare campioni sequenziati a diverse profondità. Un altro *bias* importante è dato dalla lunghezza dei geni: i geni più lunghi generano un numero di *read* significativamente maggiore rispetto ai geni corti, facendo quindi sì che i *count* di ciascun gene non dipendano solo dal suo reale livello di espressione, ma anche dalla sua lunghezza. Studi recenti hanno inoltre evidenziato un legame tra *count* e contenuto in GC dei trascritti sequenziati. Abbiamo caratterizzato i *bias* dei *count*, calcolati a livello di esone invece che di gene, prima e dopo normalizzazione e utilizzando sei diverse tecniche di normalizzazione. Si è dimostrato che i *count* presentano una forte dipendenza dalla lunghezza dell'esone e una relazione molto meno marcata con il suo contenuto in GC. Nessuno dei metodi testati rimuove completamente il *bias* dovuto alla lunghezza. Tra i metodi per la correzione delle differenze nella profondità di sequenziamento, la Trimmed Mean of M-values (TMM, implementata in edgeR) produce i risultati più accurati e riproducibili. edgeR quindi selezionato per la nostra pipeline di analisi per le fasi di normalizzazione dei count per la profondità di sequenziamento e analisi dell'espressione differenziale.

**Definizione di un nuovo approccio per il calcolo dei count.** Dato che le procedure di normalizzazione dei count a posteriori non consentono di correggere efficacemente i *bias*, si è deciso di definire e implementare una nuova strategia per il calcolo dei *count*. Il nuovo approccio, chiamato *maxcounts*, prevede di calcolare i *count* "posizionali" lungo un esone o trascritto a singola isoforma (ovvero, il *coverage* su ciascuna base lungo la sua sequenza) e di considerare il massimo come misura del suo livello di espressione. Abbiamo dimostrato che questa misura riduce il *bias* dovuto alla lunghezza dell'esone, che caratterizza invece la strategia standard di calcolo dei *count*; in questo secondo caso, infatti, i *count* non dipendono solo dal livello di espressione ma anche dalla lunghezza dell'esone/trascritto considerato. Inoltre, il nostro approccio permette di ridurre *bias* dovuto ai trascritti più abbondanti: mentre i *count* tradizionali evidenziano una sovra-rappresentazione dei geni ad alta espressione, che "consumano" la maggior parte delle *read* sequenziate, i *maxcounts* sono distribuiti in modo più uniforme tra i geni dal data set. Infine, i *maxcounts* sono caratterizzati da una minore variabilità tecnica e forniscono una misura più accurata del livello di espressione genica (testata attraverso la quantificazione con RNA spike-in). Il metodo per il calcolo dei *maxcounts* è stato implementato in C++ per permettere una computazione efficiente sui data set RNA-seq reali (<http://www.dei.unipd.it/~finotell/maxcounts/>).

**Definizione della pipeline di analisi dati finale.** Contestualmente all'implementazione e test dell'approccio *maxcounts*, è stata definita e implementata la pipeline di *pre-processing* e mappaggio delle read prevista prima della computazione dei *count*. La pipeline di *pre-processing* prevede la rimozione delle sequenze degli adattatori per il sequenziamento, la rimozione delle estremità delle read a bassa qualità e l'eliminazione finale delle read corte. La pipeline di mappaggio iniziale che prevedeva l'utilizzo di TopHat e la rimozione delle read che mappano in più posizioni (*multireads*) è stata infine ottimizzata in una strategia più conservativa che prevede gestione delle *multireads* tramite RSEM.

**Applicazione della pipeline di analisi RNA-seq allo studio dell'atrofia muscolare spinale.** L'atrofia

muscolare spinale (SMA) è una patologia neuromuscolare degenerativa che costituisce la più comune causa genetica di morte infantile. Nonostante questa patologia sia stata oggetto di numerosi studi, non sono ad oggi disponibili né una cura né un trattamento efficaci. Il progetto di ricerca svolto presso il Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC) di Madrid, Spagna, ha lo scopo di indagare, utilizzando la tecnologia RNA-seq, le variabili genetiche legate allo sviluppo e alla progressione della SMA. In particolare, il lavoro svolto si è focalizzato sull'analisi dei dati di RNA-seq di 5 pazienti affetti da SMA III (forma meno severa), 5 pazienti affetti da SMA II (forma più severa) e 20 controlli sani. I risultati ottenuti, hanno confermato l'espressione differenziale dei geni notoriamente coinvolti nella SMA, SMN1/SMN2, ma hanno anche rivelato la presenza di una nuova isoforma del gene SMN2 nei pazienti di SMA. Inoltre, è stata selezionata una lista di geni target putativi caratterizzati da livello di espressione e/o varianti a singolo nucleotide (SNPs) che correlano con la severità della malattia. I risultati, che sono ora in fase di validazione sperimentale, permettono di ampliare le conoscenze riguardanti i geni coinvolti nella patogenesi della SMA e aprono nuove prospettive allo sviluppo di trattamenti per il rallentamento della progressione della malattia.

**Sviluppi futuri.** Per l'analisi dell'espressione differenziale nello studio sulla SMA, sono stati considerati i geni differenzialmente espressi identificati sia con l'approccio standard che con la strategia *maxcounts*, in modo da minimizzare il numero di falsi positivi. Tuttavia, sarà interessante definire in futuro quale tra questi due metodi permette di ottenere i risultati più precisi e accurati quando applicato a dati reali caratterizzati da più repliche biologiche. A questo scopo, è stato definito un design sperimentale che prevede il sequenziamento RNA-seq *time-course* di colture di *M. tuberculosis*, wild type e mutante, utilizzando tre repliche biologiche. Allo scopo di caratterizzare i due gli approcci e ottimizzare la pipeline di analisi, sono stati aggiunti a tutti i campioni di *M. tuberculosis* degli RNA spike-in: trascritti a concentrazione e sequenza note, che permettono di valutare se un metodo di quantificazione sia in grado di stimare in modo accurato e preciso l'abbondanza degli RNA in input. Il design dell'esperimento è stato ultimato e i campioni sono correntemente in fase di sequenziamento.

#### ***Altre attività di ricerca legate al Next-Generation Sequencing***

- Studio del microbioma umano da dati di sequenziamento 16s per lo studio della broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) e del cancro al colon (CRC).
- RNA-seq e sequenziamento dell'esoma per lo studio del diabete nell'ambito progetto Europeo SUMMIT.

#### **Parte 3 Pubblicazioni**

##### **Elenco pubblicazioni su rivista internazionale**

J. Fadista, P. Vikman, E. Ottosson Laakso, I. Mollet, P. Osmark, J. Esguerra, J. Taneera, C. Ladenvall, K. Hansson, F. Finotello, U. Krus, B. Di Camillo, O. Hansson, L. Eliasson, A. Rosengren, E. Renström, C. B. Wollheim, L. Groop. "Global transcriptomic analysis of human pancreatic islets reveals novel genes influencing glucose metabolism". In submission.

F. Finotello, E. Lavezzo, L. Bianco, L. Barzon, P. Mazzon, P. Fontana, S. Toppo, and B. Di Camillo. "Reducing bias in RNA sequencing data: a novel approach to compute counts". Accepted by BMC Bioinformatics.

E. Lavezzo, S. Toppo, E. Franchin, B. Di Camillo, F. Finotello, M. Falda, R. Manganelli, G. Pal\_, and L. Barzon. "Genomic comparative analysis and gene function prediction in infectious diseases: application to the investigation of a meningitidis outbreak". Submitted to BMC Infectious Diseases.

F. Finotello, E. Lavezzo, P. Fontana, D. Peruzzo, A. Albiero, L. Barzon, M. Falda, B. Di Camillo, and S. Toppo. "Comparative analysis of algorithms for whole-genome assembly of pyrosequencing data". Briefings in Bioinformatics, 13(3):269-280, 2012.

E. Lavezzo, S. Toppo, L. Barzon, C. Cobelli, B. Di Camillo, F. Finotello, E. Franchin, D. Peruzzo, G.M. Toffolo, M. Trevisan, et al. "Draft genome sequences of two Neisseria meningitidis serogroup C clinical

isolates". Journal of bacteriology, 192(19):5270-5271, 2010.

F. Finotello, E. Lavezzo, L. Barzon, P. Mazzon, P. Fontana, S. Toppo, and B. Di Camillo. "A strategy to reduce technical variability and bias in RNA sequencing data". EMBnet. journal, 18(B):pp-65, 2012. Oral Communication in NETTAB 2012.

F. Finotello, E. Lavezzo, L. Barzon, P. Fontana, A. Si-Ammour, S. Toppo, and B. Di Camillo. "RNA sequencing data: biases and normalization". EMBnet. journal 18 Suppl. A, BITS 2012 - IX Annual Meeting of the Bioinformatics Italian Society Meeting Abstracts, 2012.

#### **Elenco pubblicazioni su convegno internazionale**

F. Finotello, E. Lavezzo, L. Barzon, P. Fontana, S. Toppo, and B. Di Camillo. "Characterization and reduction of biases in RNA sequencing data". In IDAMAP, Intelligent data analysis in biomedicine and pharmacology, November 22, 2012. Oral Communication.

F. Finotello, D. Peruzzo, E. Lavezzo, B. Di Camillo, G. M. Toffolo, C. Cobelli, and S. Toppo. "Complete and comparative analysis of algorithms for whole genome shotgun assembly". In BITS 2010. VII Annual meeting of the Bioinformatics Italian Society, 157-159. Progedit, April 14-16, 2010. Oral Communication.

#### **Elenco pubblicazioni su convegno nazionale**

F. Finotello, E. Lavezzo, L. Barzon, P. Fontana, A. Si-Ammour, S. Toppo, and B. Di Camillo. "Comparison of parametric methods for detecting differential expression in RNA sequencing data". In Third National Congress of Italian Group of Bioengineering, June 26-29, 2012.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **FINOTELLO Francesca** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **GERONAZZO Michele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **GERONAZZO Michele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

Borsa CARIPARO a tema vincolato:

*“Sviluppo di un ambiente interattivo per technology augmented learning”.*

### **PARTE 1 - DIDATTICA**

- Corsi seguiti durante l'anno
  - Applied Linear Algebra (16 ore)
  - Statistical Methods (24 ore)
  - Dynamics over networks (20 ore)
  - Game Theory for Information Engineering (20 ore)
  - Embedded Real-Time Systems (20 ore)
  - Multimodal interaction in virtual environments, (20 ore)  
Aalborg University Copenhagen, Maggio 2011
  - STEPS Seminars Towards Enterprise for Ph.D. Students,  
Modulo Organizzazione & Lavoro, Maggio-Giugno 2012, Sede Confindustria  
Padova (16 ore)
  - Tutor Junior Corso di formazione, 06,10 Settembre 2012, Università degli Studi  
di Padova (12 ore)
- Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi
  - SMC 2011 Summer School: Embodied Sound and Music, Dipartimento di  
Ingegneria dell'Informazione, Padova, Luglio 2011
  - SaMPL Spring School 2012 on Wavefield Synthesis, Laboratorio SaMPL,  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova, Aprile 2012 (*auditore*)
  - SMC Summer School 2012 on Product Sound Design, Innovation and  
Entrepreneurship, Aalborg University, Copenhagen, Denmark, Luglio 2012
- Seminari seguiti al DEI o in altre sedi
  - Giuseppe Vallone, *"Quantum computation and simulation with photons"*,  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova, Lunedì 17 gennaio 2010
  - Carlo Drioli, Presentazione lavoro sul tema *"Sintesi Vocale - Modello fisico di  
glottide"*, Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (CNR - ISTC),  
Padova, Mercoledì 19 gennaio 2011
  - Piergiorgio Odifreddi, Conferenza *"C'è spazio per tutti. Il grande racconto della  
geometria."*, Università degli Studi di Padova, Padova, Venerdì 21 gennaio 2011

- Amedeo Cesta, *"Progetto RoboCare: tecnologie software e robotiche per assistenza continua ad anziani"*, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova, Martedì 25 gennaio 2011
  - Franco Bombi, *Lezione "50 anni di storia dell'informatica visti da Franco Bombi"*, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova, Martedì 01 febbraio 2011
  - Alvisè Vidolin, *"Incontri con l'autore"*, Conservatorio Statale di Musica "C. Pollini", Padova, Giovedì 07 marzo 2011
  - *"Teresa Rampazzi e la musica ben calcolata"*, Conservatorio Statale di Musica "C. Pollini", Padova, Martedì 21 giugno 2011
  - *"IEEE Xplore – Training"*, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova, Giovedì 27 novembre 2011
  - Boi Faltings, *"Getting agents to tell the truth"*, Martedì 31 gennaio 2012, Dipartimento di Matematica, Padova
  - Dr. Loris Nanni, *Seminari di Ingegneria dell'Informazione "Computer Vision & Machine Learning"*, Martedì 28 febbraio 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Dr. Antonio Rodà, *Seminari di Ingegneria dell'Informazione "Sound and Music Computing"*, Martedì 28 febbraio 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Giuseppe De Nicolao, *"Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators"*, Martedì 20 febbraio 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Confindustria Padova, *Presentazione di STEPS Seminars Towards Enterprise for Ph.D. Students*, Giovedì 12 aprile 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Alberto Broggi, *"From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving"*, Lunedì 16 aprile 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - EU project DREAM, *Digital Re-Working Re-Appropriation of Electro-Acoustic Music*, Venerdì 15 Giugno 2012, Museo degli Strumenti Musicali, Castello Sforzesco, Milano
  - M. De Gasperi, *Coordinare un'attività complessa: project management (corso STEPS)*, Giovedì 28 Giugno 2012, Sede Confindustria Padova
  - Veronique Larcher, *"Innovation at Sennheiser. Case studies."*, Domenica 8 Luglio 2012, Aalborg University Copenhagen, Copenhagen
  - Takashi Baba, *"Information processing and music in Kwansei Gakuin"*, Martedì 17 Luglio 2012, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - M. Citron, *"La Proprietà Intellettuale"*, Giovedì 5 giugno 2013, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - N. Komeilipoor *"The Sound of Action"*, Lunedì 7 ottobre 2013, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Laboratorio di Informatica Musicale, Padova
- Partecipazione a Conferenze Nazionali
    - *Evoluzione dei sistemi di Feedback acustico per la prima domiciliarizzazione dei soggetti con inabilità visiva*, Conferenza Rittmeyer Trieste, giugno 2011,
    - *XIX Colloquium on Musical Informatics (XIX CIM 2012)*, Trieste, November 2012
    - *XI - Workshop Tecnologie per la Musica*, Sapienza Università di Roma Dipartimento DIET & Conservatorio L. Refice di Frosinone, Mercoledì 12 giugno 2013, Roma

- *Convegno "Audio 3D e Acustica Architettonica"*, Università degli Studi di Bologna e Audio Engineering Society - Italian Section, giovedì 7 novembre 2013.
- **Partecipazione a Conferenze Internazionali**
  - *Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2011)*, Padova, July 6-9, 2011
  - *ACM - Special Interest Group on Computer-Human Interaction CHIItaly 2011 Conference*, Alghero, September 2011.
  - *7th International Conference on SIGNAL IMAGE TECHNOLOGY & INTERNET BASED SYSTEMS (SITIS 2011)*, Dijon, November 2011.
  - *Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2012)*, Copenhagen, July 11-14, 2012
  - *European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012)*, Bucharest, Giovedì 30 Agosto, 2012
  - *Audio Engineering Society Convention 134. AES 134 2013*, Rome, May 2013
  - *Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2013)*, Stockholm, July 30-07/03-08-13
  - *Int. Conf. Stockholm Music Acoustics Conference (SMAC 2013)*, Stockholm, July 30-07/03-08-13
  - *10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR'13)*, Marseille, October 2013
  - *11th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM'13)*, 2-4 December, 2013
- **Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)**
  - Tutor Junior: Assistenza di Laboratorio 100 ore, Fondamenti di Informatica Canale 1, 3 e 4, Laurea Triennale in Ingegneria dell'Informazione, primo semestre anno accademico 2012-13
  - Tutor Junior: Assistenza di Laboratorio 90 ore, Fondamenti di Informatica Canale 1, 2, 3 e 4, Laurea Triennale in Ingegneria dell'Informazione, primo semestre anno accademico 2013-14

## PARTE 2 - RICERCA

### Descrizione dell'attività svolta

Le due principali direzioni di ricerca avviate nel primo anno di dottorato, sintesi di audio binaurale e design di sistemi di apprendimento multimodale in ambienti virtuali, hanno registrato una continua evoluzione quantificabile dal numero di collaborazioni instaurate ad elevato livello qualitativo e di pubblicazioni su principali conferenze e riviste scientifiche del settore *audio signal processing*.

Una naturale continuazione del percorso di ricerca iniziato con il lavoro di Tesi Specialistica nel 2009 e formalizzato con le pubblicazioni [16,17,18], ha permesso l'approfondimento della modellazione strutturale per il contributo dell'orecchio esterno al rendering di una sorgente sonora sul piano mediano e la personalizzazione dell'ascolto legata alla forma dell'orecchio esterno. I risultati scientifici ottenuti hanno portato a pubblicazioni scientifiche su atti di conferenze internazionali [13,14,15] e sono stati confermati nella pubblicazione su rivista [3]. La realizzazione di un modello strutturale completo che tenga in considerazione i fenomeni acustici di filtraggio ad opera di orecchio esterno, testa, busto, canale uditivo e cuffie ha trovato espressione nella formulazione dei Mixed Structural Models [7]: ogni fenomeno acustico collegato ad una particolare parte del corpo può essere (i) scelto riproponendo contributi già

memorizzati in un database, (ii) simulato, (iii) misurato o (iv) modellato. Un primo risultato riguardante la modellazione acustica del campo vicino è stato raggiunto in [11]; inoltre è stata avviata un'accurata sperimentazione psico-acustica su parametrizzazione del modello strutturale di orecchio esterno e compensazione individuale di cuffie (alcuni risultati preliminari sono stati sottoposti per pubblicazione [2]).

All'interno della collaborazione con l'Università Iuav di Venezia nelle persona di Davide Rocchesso rivolta alla realizzazione di un dispositivo per l'estrazione di caratteristiche antropometriche identificative dell'orecchio esterno (fondamentali per la personalizzazione di modelli strutturali per la sintesi di audio spazializzato) è stato effettuato il design del sistema, presentato in [12], e la prototipazione di un prima versione di dispositivo e algoritmi di image processing [4,6]. La ricerca di tecnologie per l'ascolto personale di scene acustiche virtuali, di cui il sistema precedentemente descritto ne è una espressione, sono contenute nell'ambizioso progetto "Binaural Framework" gestito attraverso la piattaforma Redmine messa a disposizione dal nostro Dipartimento, sviluppatosi anche grazie al contributo di 20 tesisti seguiti dal gruppo Sound & Music. L'intero ambiente e le metodologie di ricerca adottate sono state presentate alla 134 Audio Engineering Society Convention di Roma [8,9].

Nell'ambito della multimodalità in ambienti virtuali sono state avviate numerose collaborazioni nazionali e internazionali che hanno prodotto risultati di ricerca originali e portato a pubblicazioni scientifiche su atti di conferenze internazionali e su rivista.

- Collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale dell'Università degli Studi di Padova nelle figura di Giulio Rosati già instaurata dal collega Simone Spagnol: design di feedback audio-visivo per la riabilitazione motoria dell'arto superiore in persone colpite da ictus [10].
- Collaborazione con Aalborg University Copenhagen nella persona di Luca Turchet: studio della localizzazione di suoni sintetici di passi, sorgenti sonore autoprodotte poste spazialmente a livello del suolo; i risultati della sperimentazione sono stati organizzati e sottoposti per pubblicazione su rivista [1].
- Collaborazione con Istituto Italiano di Tecnologia di Genova nelle persone di Luca Brayda e Claudio Campus: sostituzione sensoriale della vista ad opera dell'integrazione tra le modalità tatto e udito. La sperimentazione coinvolge persone vedenti e non vedenti e ha come obiettivo la realizzazione di un ausilio multimodale che agevoli la costruzione di mappe cognitive di orientazione e mobilità. Un prototipo di sistema, integrazione del dispositivo tattile TAMO dell'IIT con il motore di audio 3D del gruppo Sound & Music, agevola la costruzione di mappe cognitive di orientazione e mobilità (risultati preliminari statisticamente significativi in fase di organizzazione per pubblicazione).
- Collaborazione con il Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova nelle figura di Massimo Grassi: approfondimento dei meccanismi di percezione spaziale tridimensionale, in particolare dell'altezza; i risultati ottenuti da una prima sperimentazione con il dispositivo aptico Phantom sono pubblicati in [5].

La simulazione numerica dei contributi acustici delle componenti strutturali del corpo a partire da acquisizioni scanner di modelli tridimensionali rappresenta una delle principali direzioni di ricerca che il gruppo Sound & Music vorrà intraprendere nell'immediato futuro. Per tale scopo, sono state seguite nell'ultimo anno di dottorato due tesi triennali in collaborazione con l'Università degli Studi Roma Tre nelle persone di Francesco Centracchio e prof. Umberto Iemma con l'obiettivo di installare e testare, in ambiente IBM Power 7 messo a disposizione dal nostro Dipartimento, il simulatore acustico agli elementi finiti AcouSTO.

### Supervisione studenti, altre attività didattiche

- Supporto di correlazione e supervisione a lavori di tesi triennale e magistrale assieme a tesine del corso di Informatica Musicale (prof. De Poli): triennali 12, magistrali 5, tesine 3.

### Attività organizzativa

- *Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2011)*: organizzatore locale e webmaster del sito ufficiale della conferenza.
  - *Mostra "Visioni del Suono. Musica elettronica all'Università di Padova"*, Centro di Ateneo per i Musei, 3 aprile-18 luglio 2012: progettazione e realizzazione della postazione interattiva "*Spatial Audio in Virtual Reality Scenario*";
  - *XIX Colloquio di Informatica Musicale*: partecipazione al Comitato Scientifico per la revisione dei lavori di ricerca presentati all'evento.
  - *Audio Engineering Society 134 Convention, Roma*: moderatore della sessione "Spatial Audio- Binaural, HRTF"
  - *Colloquia @ DEI maggio 2013*: coordinamento incontro "Mental maps from tactile virtual objects ", *Dott. Luca Brayda, IIT Genova*.
  - *Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2013)*: revisione lavori di ricerca presentati all'evento.
- Seminari di presentazione dell'attività di ricerca:
    - **Invited Talk** a "Evoluzione dei sistemi di Feedback acustico per la prima domiciliarizzazione dei soggetti con inabilità visiva"; Intervento: "La stanza logo-motoria: Feedback uditivo attraverso audio binaurale", Conferenza Rittmeyer Trieste, giugno 2011,
    - "When synthetic spatial audio would serve multimodal integration", Lunedì 7 maggio 2012, Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) Genova
    - **Invited Talk** "Audio 3D e tecnologia binaurale in cuffia, un ascolto ecologico", Venerdì 15 giugno 2012, Spritz della Scienza, Il Caffè dei Libri, Bassano del Grappa (VI)
    - **Invited Talk** a "Audio 3D e Acustica Architettonica"; Intervento: "Misurazione e modellazione di HRTF" Giovedì 7 novembre 2013, Università degli Studi di Bologna e Audio Engineering Society.
    - "Mixed structural models for 3D audio in virtual environments ", Venerdì 6 dicembre 2013, Acoustics Research Institute, Vienna, Austria (*pianificato*)

### Tesi di dottorato

Titolo: *Mixed structural models for 3D audio in virtual environments*.

Supervisore: AVANZINI Federico

### PARTE 3 - PUBBLICAZIONI

Elenco delle pubblicazioni:

- Lavori sottoposti per la pubblicazione su riviste:
  - [1] L. Turchet, S. Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Surface Typology Affects Localization of Interactive Footstep Sounds Delivered through Headphones*.  
Journal of the Acoustical Society of America (JASA). Submitted for publication (June 2013).

- Lavori sottoposti per la pubblicazione a convegni internazionali:
  - [2] M. Geronazzo, S. Spagnol, A. Bedin and F. Avanzini.  
*Enhancing Vertical Localization with Image-guided Selection of Non-individual Head-Related Transfer Functions.*  
IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2014),  
Florence, 4-9 May 2014.
  
- Lavori pubblicati su riviste
  - [3] S.Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*On the relation between Pinna Reflection Patterns and Head-Related Transfer Function Features*  
IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process, 21(3): 508-519, March 2013.
  
- Lavori presentati a convegni internazionali:
  - 2013**
    - [4] S. Spagnol, M. Geronazzo, D. Rocchesso, and F. Avanzini.  
*Extraction of Pinna Features for Customized Binaural Audio Delivery on Mobile Devices*  
In Proc. 11th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM'13), Wien, 2-4 December, 2013 S.Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.
    - [5] M. Geronazzo, F. Avanzini, and Massimo Grassi.  
*Influence of Auditory Pitch on Haptic Estimation of Spatial Height.*  
In Proc. 10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR'13), Marseille, October 2013.
    - [6] S. Spagnol, D. Rocchesso, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Automatic Extraction of Pinna Edges for Binaural Audio Customization.*  
In Proc. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP'13). Pula (Sardinia), September 2013.
    - [7] M. Geronazzo, S. Spagnol, and F. Avanzini.  
*Mixed structural modeling of head-related transfer functions for customized binaural audio delivery.*  
In Proc. IEEE International Conference on Digital Signal Processing. Santorini, July 2013.  
**Invited Paper.**
    - [8] M. Geronazzo, F. Granza, S. Spagnol, and F. Avanzini.  
*A standardized repository of Head-Related and Headphone Impulse Response data.*  
In Proc. of the Audio Engineering Society Convention 134. AES 134 2013, Rome, May 2013.
    - [9] M. Geronazzo, S. Spagnol, and F. Avanzini.  
*A modular framework for the analysis and synthesis of Head-Related Transfer Functions.*  
In Proc. of the Audio Engineering Society Convention 134. AES 134 2013, Rome, May 2013.
  - 2012**
    - [10] S.Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Employing Spatial Sonification of Target Motion in Tracking Exercises*  
In Proc. Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2012), Copenhagen,

July 11-14, 2012.3

- [11] S.Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Hearing Distance: a Low-Cost Model for Near-Field Binaural Effects*  
In Proc. of the European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012),  
Bucharest, August 27-31, 2012.
- [12] M. Geronazzo, S. Spagnol, D. Rocchesso, and F. Avanzini.  
*Model-based Customized Binaural Reproduction Through Headphones.*  
In Proc. XIX Colloquium on Musical Informatics (XIX CIM 2012), Trieste,

November 2012

**2011**

- [13] M. Geronazzo, S.Spagnol, and F. Avanzini.  
*Customized 3D sound for innovative interaction design.*  
In Proc. SMC-HCI Workshop, CHIItaly 2011 Conference, Alghero, September  
2011.

- [14] M. Geronazzo, S.Spagnol, and F. Avanzini.  
*A Head-Related Transfer Function Model for Real-Time Customized 3-D Sound  
Rendering.*

In Proc. Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS'11), Dijon,  
Nov. 2011

- [15] S. Spagnol, M. Geronazzo and F. Avanzini  
*Structural Modeling of Pinna-Related Transfer Functions for 3-D Sound  
Rendering.*

In Proc. XVIII Colloquium on Musical Informatics (XVIII CIM 2010), pages 92-101, Torino-  
Cuneo, October 2010,

**2010**

- [16] S. Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Fitting pinna-related transfer functions to anthropometry for binaural sound  
rendering.*  
In Proc. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing  
(MMSP'10), pages 194-199, Saint-Malo, October 2010. **Top 10% Paper Award  
winner.**

- [17] M. Geronazzo, S.Spagnol, and F. Avanzini.  
*Estimation and modeling of pinna-related transfer functions.*  
In Proc. 13th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx-10), Graz, September  
2010.

- [18] M. S. Spagnol, M. Geronazzo, and F. Avanzini.  
*Structural modeling of pinna-related transfer functions.*  
In Proc. Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2010), pages 422-428,  
Barcelona, July 2010.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **GERONAZZO Michele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MASIERO Chiara** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MASIERO Chiara** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **Parte 1 Didattica**

Corsi seguiti:

Per crediti:

- Subspace Techniques for the Identification of Linear Systems (Prof. G. Picci)
- Dynamics over Networks (Prof. F. Fagnani)
- Statistical Methods (Prof. L. Finesso)
- Applied Linear Algebra (Proff. H. Wimmer e T. Damm)
- Applied Functional Analysis (Prof. G. Pillonetto)

Fuori piano:

- Harnessing Randomness in Information Theory (Prof. M. Bloch)
- Adaptive Control (Prof. A. Serrani)

Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- Scuola Nazionale di Dottorato SIDRA, Bertinoro, 16-21/07/2012

Corsi seguiti: *Sistemi stocastici: stima ed identificazione; Controllo del volo*

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:

- *What are moment problems and why are they useful in systems and control?*, Prof. Anders Lindquist, KTH, 28/01/11
- *An introduction to Generalized Factor Analysis models*, Giulio Bottegal, PhD Student, Università di Padova, 15/04/11
- Impact lecture: *Può l'informazione modificare il cervello?*, Prof. L. Maffei (Scuola Normale Superiore di Pisa), 5/05/11
- *Adaptive Feedforward Compensation of Harmonic Disturbances for Convergent Nonlinear Systems*, Prof. A. Serrani, Ohio State University, 13/05/11
- Impact lecture: *My life in Silicon Valley*, Dr. F. Faggin, Foveon Inc., 7/06/11
- *Adaptive and Optimal Filtering, Prediction and Control in Adaptive Optics*, Prof. Steve Gibson, UCLA, 5/09/11
- Distinguished lecture: *Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery*, Prof. D. Taubman, University of New Southern Wales, 8/09/11
- *Ubiquitous Mobile Computing, Communication and Networking*, Dr. Qinqing Zhang, Applied Physics Laboratory of the Johns Hopkins University, 12/09/11

- *Distributed Size Estimation in Anonymous Networks*, Dr. Damiano Varagnolo, Università di Padova, 24/10/11
- Seminario: *On the Geometry of Maximum Entropy Problems*, Michele Pavon, 23/02/2012.
- Distinguished lecture: *Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators*, Giuseppe De Nicolao, 20/03/2012
- Distinguished lecture: *From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving*, Alberto Broggi, 16/04/2012
- Distinguished lecture: *Dalla nanotecnologia alla nanoscienza*, Fabio Beltram, 08/05/2012
- Distinguished lecture: *Gene regulatory networks in cancer: a probabilistic approach*, Mathukumalli Vidyasagar, 24/05/2012
- Seminario: *Stochastic Self Assembly of Incommensurate Clusters*, Maria Rita D'Orsogna, 30/05/2012
- Seminario: *The Separation Principle in Stochastic Control Revised*, Tryphon T. Georgiou, 15/06/2012
- Seminario: *Cooperative control of multi-agent systems: application to underwater missions*, Lara Briñón-Arranz, 24/07/2012
- Seminario, DEI. Kasim Sinan Yildirim, Ege University, Izmir, Turkey, *Efficient Time Synchronization in Wireless Sensors Networks by Adaptive Value Tracking*, 10/04/2013
- Seminario, DEI. Saverio Bolognani, MIT, USA, *An application of graphical models: identification of power distribution network topology via voltage correlation analysis*, 24/04/2013
- Seminario, DEI. Roberto Franzosi, Emory University (Atlanta, USA). *What things can we do with words? Answers from Quantitative Narrative Analysis*, 21/05/2013s
- Seminario, DEI. Sanjoy K. Mitter, MIT USA, *System Theory: A Retrospective and Prospective Look*, 28/06/2013
- Seminario, DEI. Tohru Katyama, Ritsumeikan University (Kyoto), *On the nonlinear Kalman filtering - Comparison of EKF, EqKF and GF for polynomial systems*, 10/07/2013
- Talk, Dipartimento di Matematica, Università di Padova. Massimo Fornasier, (Technische Universität München), *Mean Field Optimal Control*, 5/09/2013
- Distinguished lecture, DEI. Maurizio Seracini, Editech e UC San Diego *La scienza della conservazione per i beni culturali: il ruolo dell'information technology*, 14/10/2013

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- 50<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Orlando (Florida), 12-15 Dicembre 2011.
- *A Control Day (and a half) - Control Theory at the University of Padova*, 24-25 Febbraio 2012, Padova
- *Control Day - Control Theory at the University of Padova* 2013, 20/ Settembre 2013, Padova

- ERNSI 2013 workshop, Nancy, France, 22-25 Settembre 2013
- 52<sup>nd</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Florence, Italy, 10-13 Dicembre 2013.

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- Due contratti da 50 ore ciascuno per l'attività di tutorato
  - A.A. 2011-2012: *Identificazione dei sistemi dinamici*, Prof. Giorgio Picci, 50 ore
  - A.A. 2012-2013: *Segnali e Sistemi*, Prof. Michele Pavon e *Stima e Filtraggio*, Prof. Stefano Pinzoni, 50 ore

Permanenza all'estero

- Settembre 2012 – Febbraio 2013  
Visiting Ph.D. student presso l'Università Jiao Tong di Shanghai, Repubblica Popolare Cinese.

## Parte 2 Ricerca

L'attività di ricerca sviluppata durante il dottorato ha avuto come argomenti principali la stima spettrale per processi stocastici multivariati e l'analisi delle prestazioni dei meccanismi di comunicazione wireless sicura implementati a livello fisico.

Il *fil rouge* che lega questi temi apparentemente lontani risiede nella possibilità di affrontarli mediante tecniche di ottimizzazione che prevedono vincoli sui momenti delle funzioni che devono essere stimate. Nel primo caso la funzione da stimare è la densità spettrale del processo di interesse, che deve rispettare la descrizione statistica parziale disponibile; nel secondo, invece, l'obiettivo è stimare la densità di probabilità congiunta che corrisponde alla più efficace tecnica di attacco alla sicurezza delle comunicazioni. Essa definisce le performance del meccanismo di sicurezza nel caso pessimo. In questo scenario, i vincoli nascono dalla richiesta che la densità stimata sia coerente con le caratteristiche del sistema di comunicazione analizzato.

Per quanto riguarda la stima spettrale per processi multivariati, è stato adottato un approccio di tipo parametrico basato su tecniche di ottimizzazione convessa, che ha permesso di sviluppare due tecniche originali in grado di rispondere ad esigenze diverse.

La prima, descritta in [4,6,7], appartiene alla classe degli stimatori di tipo THREE (*Tunable High Resolution Estimator*), introdotta da Byrnes, Georgiou e Lindquist in [1]. Essa si fonda su tre elementi fondamentali:

1. Un filtro che può essere progettato arbitrariamente e permette di imporre dei vincoli sulla densità spettrale del processo di interesse
2. La conoscenza della matrice di covarianza dello stato del filtro
3. La possibilità di includere le informazioni disponibili sul processo nella forma di una densità spettrale *a priori*.

Poiché la densità *a priori* non rispetta i vincoli imposti dal filtro, in generale, sorge un problema di approssimazione vincolata, che può essere considerato un problema dei

momenti generalizzato.

L'efficacia della tecnica proposta risiede in larga misura nella scelta del funzionale di costo adottato per valutare la bontà dell'approssimazione. È stata proposta un'estensione della distanza di Itakuro-Saito al caso multivariato, che corrisponde al tasso di entropia relativa tra processi gaussiani.

Questa scelta, in contrasto con quelle presenti in letteratura precedentemente, appare molto naturale. Infatti, permette di ottenere nel caso multivariato gli stessi risultati che sono allo stato dell'arte nel caso scalare, in particolare in termini di complessità massima della soluzione ammissibile. La tecnica proposta permette anche di aumentare la risoluzione della stima in corrispondenza a certi intervalli frequenziali prestabiliti, mediante un'oculata allocazione dei poli del filtro utilizzato per elaborare i dati. Inoltre, le prestazioni sono buone anche in corrispondenza a data record molto brevi, in casi in cui l'efficacia di tecniche standard come PEM ed N4SID risulta pesantemente inficiata dalla presenza di artefatti.

La seconda tecnica per la stima spettrale multivariata che è stata sviluppata, descritta in [5], permette di affrontare in modo efficiente il classico problema dell'estensione di covarianza. Dati i *covariance lags*  $C_0, C_1, \dots, C_n$ , questo problema consiste nell'estendere questa sequenza infinitamente, in modo tale da definire una densità spettrale legittima (ovvero, di modo che la matrice di Toeplitz infinita originata dagli elementi della sequenza  $\{C_n\}_{n \in \mathbb{Z}}$  sia definita positiva) e razionale.

La tecnica di approssimazione sviluppata rappresenta una generalizzazione al caso vettoriale di quella introdotta da Lindquist e Picci in [2] per il caso scalare. Essa si basa sulla formulazione del problema in termini di ottimizzazione convessa vincolata e sul ricorso sistematico alla DFT (Discrete Fourier Transform), per la quale esistono implementazioni algoritmiche molto efficienti.

In particolare, l'approssimazione introdotta consiste nello stimare la densità di un processo stazionario periodico di periodo  $2N$ , con  $N > n$ , compatibile con  $C_0, C_1, \dots, C_n$ . Essa è definita sulla circonferenza unitaria discretizzata ed è quindi univocamente identificata dalla sequenza finita  $C_0, C_1, \dots, C_n, \dots, C_N$ . Per  $N \rightarrow \infty$ , si dimostra che la soluzione tende a quella esatta (cioè alla densità spettrale di un processo non periodico che soddisfa i vincoli).

Il problema può essere formulato in termini dell'identificazione dei coefficienti matriciali di due pseudo polinomi simmetrici  $P$  e  $Q$  che definiscono la densità spettrale  $\Phi = Q^{-1}P$ . Alternativamente, l'estensione può essere ottenuta risolvendo un problema di completamento positivo di una matrice circolante a blocchi di dimensione finita. Entrambe queste tecniche sono state implementate ed i test suggeriscono che l'approssimazione ottenuta è di buona qualità anche per valori di  $N$  non particolarmente elevati.

L'altro argomento che è stato affrontato durante il dottorato è l'analisi delle prestazioni dei meccanismi di comunicazione wireless sicura implementati a livello fisico. I risultati conseguiti sono esposti in [9].

In particolare, è stato studiato il problema dell'autenticazione di canale, descritto per esempio in [3].

Lo schema prevede che la comunicazione tra sorgente legittima e ricevitore possa essere

attaccata da un agente fraudolento. Si suppone che, in una fase iniziale, quest'ultimo possa ottenere delle stime sui canali che lo collegano alla sorgente legittima ed al ricevitore. Successivamente, sulla base delle stime ottenute potrà elaborare i messaggi inviati al ricevitore in modo che risultino simili a quelli inviati dalla sorgente legittima. Quindi, il problema consiste nello stabilire se il messaggio sia stato inviato dalla sorgente legittima oppure rappresenti un tentativo di truffa e può essere modellato come un test di ipotesi. Quindi, l'analisi al caso pessimo delle prestazioni dello schema di autenticazione può essere ottenuta valutando la regione ammissibile per le probabilità di commettere errori di I e di II specie, nel caso in cui la sorgente fraudolenta attui la strategia d'attacco più efficace.

Ne risulta un problema dei momenti, che può essere risolto per via algoritmica, in cui deve essere valutata la probabilità congiunta che descrive la strategia d'attacco ottima, con vincoli che derivano dalle caratteristiche del sistema di comunicazione e dal fatto che la sorgente fraudolenta ha accesso ad alcune informazioni sul canale che lega sorgente legittima e ricevitore.

- [1] C. I. Byrnes, T. Georgiou, and A. Lindquist, *A new approach to spectral estimation: A tunable high-resolution spectral estimator*, IEEE Trans. Sig. Proc. Vol. 49, 2000.
- [2] A.G. Lindquist and G. Picci, *The Circulant Rational Covariance Extension Problem: The Complete Solution*, IEEE Trans. Aut. Control, Vol. 58, No. 11, November 2013
- [3] P. Baracca, N. Laurenti, and S. Tomasin, *Physical Layer Authentication over MIMO Fading Wiretap Channels*, IEEE Trans. Wireless Comm, Vol. 11, No. 7, July 2012

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore

- *Multivariate moment problems with applications to spectral estimation and physical layer security in wireless communications*, Supervisore: Prof. Augusto Ferrante

### **Parte 3 Pubblicazioni**

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- [4] Ferrante, C. Masiero and M. Pavon, *Time and spectral domain relative entropy: A new approach to multivariate spectral estimation*, IEEE Trans. Aut. Contr., 57, 2012.

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- [5] A. Lindquist, C. Masiero and G. Picci, *On the Multivariate Circulant Rational Covariance Extension Problem*, to appear in Proceedings of 52<sup>nd</sup> IEEE CDC, 10-13 December 2013, Florence, Italy
- [6] *A New Metric for Multivariate Spectral Estimation Leading to Lowest Complexity Spectra*, A. Ferrante, C. Masiero and M. Pavon, Proceedings of the 50<sup>th</sup> IEEE CDC – ECC, Orlando, Florida, USA, December 12-15, 2011
- [7] *Multivariate Itakura-Saito Distance for Spectral Estimation: Relation Between Time and Spectral Domain Relative Entropy Rates*, A. Ferrante, C. Masiero and M. Pavon, Proceedings of the 43<sup>rd</sup> ISCTE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Shiga, Japan, October 28-29, 2011
- [8] *Decentralized Task Assignment in Camera Networks*, A. Cenedese, F. Cerruti, M. Fabbro, C. Masiero, L. Schenato. Proceedings of the 49<sup>th</sup> IEEE CDC – ECC, Atlanta, Georgia, USA December 15-17, 2010 (Questa pubblicazione non rientra negli argomenti della tesi di dottorato)

Pubblicazioni sottomesse a riviste internazionali

- [9] A. Ferrante, N. Laurenti , C. Masiero , M. Pavon and S. Tomasin, *On the Achievable Error Region of Physical Layer Authentication Techniques over Rayleigh Fading Channels*, submitted to IEEE Tran. Inf. Theory

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MASIERO Chiara** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MEZZAVILLA Marco** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MEZZAVILLA Marco** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Titolo borsa a tema vincolato)  
"Risparmio energetico e microgenerazione distribuita"

**Il candidato dichiara quanto segue:**

## **Parte 1 Didattica**

### Corsi seguiti

- **Game Theory for Information Engineering** (DEI064)
- **Dynamics over Networks** (SCH46)
- **Statistical Methods** (DEI057)
- **Applied Linear Algebra** (DEI002)

### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- **Wireless Information Theory Summer School**, Oulu, Finlandia (27-29/7/11).
- **Joint BeFEMTO&FREEDOM Femto Winter School**, Barcellona, Spagna (6-10/2/12);
- **Acropolis Winter School: Experimental Methods in Wireless Communications**, Sophie Antipolis, Francia (20-22/2/12).

### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- **"Energy Efficient Wireless Networks"**, Prof. Izhak Rubin (UCLA), presso il Politecnico di Torino.
- **"Game Theory for Networks"**, Prof. Eitan Altman (INRIA), presso il Politecnico di Milano.
- **"Multiantenna transmissions: theoretical bounds and applications in LTE and LTE-A systems"**, Dr. Federico Boccardi (Alcatel-Lucent Bell Labs), presso

l'Università di Padova.

- **“Proprietà industriale: i brevetti”**, Ing. Citron, presso l'Università di Padova.
- **“Resource allocation in multi-hop wifi networks”**, Prof.ssa Laura Giarre' (Università di Palermo), presso l'Università di Padova.
- **“Energy Efficient Wireless Communication: Impact of Energy Harvesting and Processing Energy”**, Prof.ssa Elza Erkip (NYU Poly), presso l'Università di Padova.
- **“Multiantenna systems: from theory to application in 3G, 4G and 5G systems”**, Dr. Federico Boccardi (Alcatel-Lucent Bell Labs), presso l'Università di Padova.
- **“Stochastic Self Assembly of Incommensurate Clusters”**, Prof.ssa Maria Rita D'Orsogna (California State University at Northridge), presso l'Università di Padova.
- **“Some Recent Work at JHUAPL in Advanced Communications and Networking”**, tenuto dal Dr. Bharat Doshi (Johns Hopkins University Applied Physics Lab), presso l'Università di Padova.
- **“From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving”** Dr. Alberto Broggi (Università di Parma), presso l'Università di Padova.
- **“Bayesian Foundations”**, Prof. Pierre Baldi (University of California, Irvine), presso l'Università di Padova.
- **“Architecture and applications of software defined environments”**, Prof. Radha Ratnaparkhi (IBM - Software Defined Environments), presso l'Università di Padova.
- **“MIMO systems and propagation channels”**, Prof. Andy Molish (USC), presso l'Università di Padova.
- **“Cooperative Multi-Agent Learning and Coordination for Cognitive Radio Networks”**, Prof. William Zame (UCLA), presso l'Università di Padova.
- **“La scienza della conservazione per i beni culturali: il ruolo dell'information technology”**, Prof. Maurizio Seracini (UCSD), presso l'Università di Padova.
- **“Fundamental limits in compressive sensing of GMM sources”**, Dott. Francesco Renna (UCL - UK), presso l'Università di Padova.
- **“Workshop on Brain Computer Interface (BCI)”**, organizzato dall'azienda tedesca G.Tec, presso l'Università di Padova.

## Partecipazione a Conferenze Nazionali

**Italian Networking Workshop 2012**, Courmayeur, Italia, Gennaio 2012.

## Partecipazione a Conferenze Internazionali

- **IEEE WOWMOM 2011**, Lucca, Italia, Giugno 2011.
- **IEEE ISCC 2011**, Corfù, Grecia, Luglio 2011.
- **IEEE ICC 2013**, Budapest, Ungheria, Giugno 2013.

## Permanenza all'estero

Dal 15 ottobre 2012 al 12 aprile 2013 tirocinante presso Qualcomm, San Diego, California, USA.

## **Parte 2 Ricerca**

L'attività di ricerca svolta durante il periodo di dottorato tocca varie tematiche legate alle comunicazioni cellulari e, più in generale, alla connettività wireless su ampio spettro; dallo studio e sviluppo di tecniche di trasmissione su modelli di rete tradizionali, all'analisi e design di procedure a supporto di innovativi paradigmi tecnologici. L'oggetto di parte di questi studi scaturisce dalla definizione di architetture di rete inquadrate all'interno di progetti europei quali MEDIEVAL (MultiMEDia transport for mobile Video Applications), e SAPHYRE (Sharing Physical Resources – Mechanisms and Implementations for Wireless Networks).

In primo luogo viene definita un'architettura di rete in grado di fornire supporto eterogeneo alle più innovative tecnologie di comunicazione, con particolare attenzione alle reti basate sulla modulazione OFDMA, e dotate di un accesso coordinato al mezzo radio (LTE, LTE-A) [C2]. Tale framework rappresenta lo scheletro essenziale per l'analisi e implementazione di tecniche atte a permettere un re-indirizzamento 'seamless' e verticale del traffico IP tra tecnologie (LTE/LTE-A+WiFi). In altre parole, per mezzo di una serie di procedure di monitoraggio i) fisico delle condizioni di canale associate ad ogni tecnologia, e ii) logico delle condizioni di traffico a livello di rete, è possibile determinare le condizioni tali per cui sia conveniente avviare una richiesta di handover verticale. La messaggistica associata a tali procedure si basa sul protocollo IEEE 802.21.

Uno degli aspetti più importanti legati allo studio e analisi di scenari di rete è

rappresentato dai simulatori di rete, che forniscono uno strumento fondamentale per testare la validità di un algoritmo sviluppato per migliorare le prestazioni di un sistema di comunicazione. Ciononostante, la simulazione del livello fisico di un sistema wireless è computazionalmente assai dispendiosa, ponendo così grossi limiti allo scenario di valutazione. Il contributo proposto in [C3,C5] fornisce delle tecniche per inserire all'interno di un simulatore di sistema, dunque privo di moduli per la codifica e decodifica del segnale, una descrizione affidabile delle prestazioni in fase di ricezione, semplicemente basandosi sui livelli di qualità riportati dall'utente sullo spettro radio LTE. A questo fine, proponiamo un modello per valutare le prestazioni simulate delle reti cellulari basate sulla tecnologia OFDMA. Un modello di astrazione del canale associato alla trasmissione in downlink di dati fornisce un'accurata metrica valutativa a basso costo computazionale. Il nostro modello combina metriche di compressione multi-portante basate sull'Informazione Mutua con profili prestazionali generati a livello di canale, esprimendo così la dipendenza del rate d'errore associato al blocco di dati trasmesso con i valori di SINR, e l'indice di codifica e modulazione (MCS) assegnato dall'allocatore di risorse.

Inoltre, ci proponiamo di valutare l'impatto della trasmissione di Jumboframes in reti LTE [C6], ovvero pacchetti la cui dimensione infrange il massimo valore tradizionale di 1500 Bytes. Una valutazione comparativa viene eseguita relativamente a varie configurazioni di rete, in modo da mettere in luce specifiche limitazioni. In particolare, abbiamo potuto osservare una rapida saturazione del buffer di trasmissione legato alla trasmissione di maxi pacchetti attraverso link di bassa qualità. Abbiamo dunque proposto un'architettura di rete 'cross-layer' che ci permetta di prevenire tale esubero di risorse disponibili; si tratta di un approccio che rende possibile la regolazione della dimensione dei pacchetti a seconda della capacità istantanea del canale, nota attraverso procedure standard basate sulla conoscenza di predefinite sequenze pilota alle quali vengono associate valori di qualità (CQI).

Nella ricerca applicata alle reti wireless è stato recentemente introdotto il concetto di condivisione delle risorse, visto come promettente approccio attraverso cui migliorare le prestazioni delle comunicazioni radio. Lo spettro radio è limitato, e il suo utilizzo risulta spesso inefficiente. Per questi motivi appare significativo proporre soluzioni nelle quali diversi operatori uniscano le proprie forze al fine di fornire accesso wireless a bande condivise piuttosto che proprietarie. Diversamente dalla semplicità concettuale di tale idea, l'analisi matematica che ne deriva può essere molto complessa. Per questo motivo proponiamo uno strumento atto a valutare le prestazioni delle tecniche di condivisione dello spettro nelle reti cellulari basate sulla tecnologia OFDMA, al cui interno è dunque possibile integrare, testare e valutare ogni politica di condivisione [J1,C4].

D'altra parte, relativamente all'accesso a banda larga basato sulla 'contesa per il mezzo', ci soffermiamo su un'importante problematica all'interno delle reti mobili ad hoc WiFi,

ovvero l'intrinseca inefficienza del protocollo di trasporto universalmente riconosciuto come standard, il TCP. Quest'ultimo presenta ridotte prestazioni, principalmente legate alle politiche di controllo della congestione. Infatti il TCP è stato originariamente pensato per le reti cablate, dove le perdite di pacchetti indicano una congestione. Diversamente, gli eventi di perdita nelle reti wireless sono principalmente legati alle variazioni del canale radio, o alla contesa del collegamento. Viene dunque proposta un'architettura 'cross-layer' sufficientemente snella e dinamica, basata sul paradigma delle reti cognitive [C7]. Questo framework include 1) una fase di osservazione, i.e., un 'training set' all'interno del quale vengono collezionati svariati parametri di rete; 2) una fase di apprendimento, in cui viene estratta l'informazione da utilizzare per il miglioramento delle prestazioni di rete; 3) una fase di pianificazione, in cui vengono definite le strategie da utilizzare con le informazioni 'imparate'; infine, 4) una fase di azione che rappresenta l'esecuzione 'online' di tali strategie all'interno della rete.

La più recente frontiera per le infrastrutture di rete di prossima generazione si sviluppa intorno al concetto di reti eterogenee. Tuttavia, la presenza di una moltitudine di dispositivi diversi fra loro, in quanto a tecnologia e tecniche di accesso al mezzo, pone molteplici nuove sfide. Fra tutte, l'incrementale interferenza legata alla densificazione dei nodi, e alla risultante 'planning-less topology'. Proponiamo dunque un approccio atto a supportare il re-indirizzamento del carico di rete dalle macro alle femtocelle, attraverso una cooperazione fornita dagli utenti mobili in modalità 'idle', che operano a tutti gli effetti come relays. In questo modo aumentiamo la probabilità che un utente connesso alla macrocella possa alternativamente connettersi ad una femtocella (procedura nota come offload). Abbiamo così definito un modello di ottimizzazione congiunto per l'allocazione delle risorse e la determinazione del collegamento stazione radio base - utente.

Un ulteriore tema particolarmente interessante riguarda il controllo per l'accettazione di nuovi utenti nel sistema. Tale modello deve garantire il mantenimento dei margini di qualità (QoS) associati ai nodi precedentemente connessi alla rete. A questo fine consideriamo diversi approcci per il calcolo della proiezione di capacità allocata in reti wireless basate sulla tecnologia OFDMA. Infine proponiamo la soluzione 'E-Diophantine' basata sulla teoria diofantina, di cui forniamo le basi matematiche, e mostriamo il risultante incremento delle prestazioni [J2,C1].

## Titolo

*Resource management techniques in hybrid and distributed wireless networks: analysis, optimization and performance evaluation.*

## Supervisore

Prof. Michele Zorzi

### **Parte 3 Pubblicazioni**

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

[J1] L. Anchora, M. Mezzavilla, L. Badia, M. Zorzi, **"A Performance Evaluation Tool for Spectrum Sharing in Multi-Operator LTE Networks"**, Elsevier Computer Communications, vol. 35, no. 18, pp. 2218–2226, November 2012.

[J2] X. Prez-Costa, Z. Wu, M. Mezzavilla, J. Roberto B. de Marca and J. Arauz, **"E-Diophantine: An Estimation Algorithm of Peak Allocated Capacity for Wireless Point-to-Multipoint and Multihop Networks"**, under review.

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

[C1] X. P. Costa, M. Mezzavilla, J. R. B. de Marca, J. Arauz, **"E-Diophantine: An Admission Control Algorithm for WiMAX Networks"**, in Proc. of IEEE WCNC, April 2010.

[C2] M. Mezzavilla, M. Wetterwald, L. Badia, D. Corujo, A. de la Oliva, **"Wireless Access Mechanisms and Architecture Definition in the MEDIEVAL Project"**, in Proc. of IEEE ISCC, June 2011.

[C3] M. Mezzavilla, **"Communication Protocols and Simulation Tool Development for Multimedia Traffic Optimization in LTE Networks"**, in Proc. of IEEE WoWMoM, June 2011.

[C4] L. Anchora, M. Mezzavilla, L. Badia, M. Zorzi, **"Simulation Models for the Performance Evaluation of Spectrum Sharing Techniques in OFDMA Networks"**, in Proc. of ACM MSWiM, November 2011.

[C5] M. Mezzavilla, M. Miozzo, M. Rossi, N. Baldo, M. Zorzi, **"A Lightweight and Accurate Link Abstraction Model for the System-Level Simulation of LTE networks in ns-3"**, in Proc. of IEEE MSWiM, October 2012.

[C6] M. Mezzavilla, D. Chiarotto, D. Corujo, M. Wetterwald, M. Zorzi, **”Evaluation of Jumboframes Feasibility in LTE Access Networks”**, in Proc. of IEEE ICC, June 2013.

[C7] M. Mezzavilla, G. Quer, M. Zorzi, **”On the Effects of Cognitive Mobility Prediction in Wireless Multihop Ad Hoc Networks”**, under review.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MEZZAVILLA Marco** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MICHIELETTO Stefano** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MICHIELETTO Stefano** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

*Sistemi avanzati di manifattura con impatto non solo nell'industria delle macchine utensili, ma su comparti manifatturieri del made in Italy quali tessile, abbigliamento, meccanica strumentale*

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

#### Parte 1 Didattica

##### Corsi seguiti:

- \* Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
- \* Game Theory for Information Engineering, Prof. L. Badia
- \* Statistical Methods, Prof. L. Finesso
- \* Introduzione alla modellazione 3D, Prof. G. Casciola
- \* Scientific Computing in Data Analysis, Prof. E. Gallopoulos

##### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:

- \* "Towards Artificial/Computational Sapience (Wisdom)", Dr. Rene V. Mayorga
- \* "Personal Robots: beyond service robotics", Dr. Salvatore M. Anzalone
- \* "Relative Localization for a Hopping Robot on an Asteroid Surface using Visual Odometry", Dr. Edmond So
- \* "Visual SLAM: from sparse to dense maps", Dr. Alberto Pretto
- \* "Agent Coordination Using the Max-Sum Algorithm", Dr. Alessandro Farinelli
- \* "Può l'informazione modificare il cervello?", Prof. Lamberto Maffei
- \* "Formazione per l'Innovazione, Innovazione per la competitività: Il Dottorato di Ricerca in Apprendistato: un'opportunità per imprese e laureati", incontro atto a presentare proposte di collaborazione tra imprese e laureandi, laureati magistrali e dottorandi.
- \* "Training sull'utilizzo di telecamere 3D", SICK, Vimodrone, Italy
- \* "From Italy to China on driverless cars: Paving the Road to Autonomous Driving.", Dr. Alberto Broggi

- \* "Computer Vision & Machine Learning", Dr. Loris Nanni
- \* "Sound and Music Computing", Dr. Antonio Rodà
- \* "Social networks - models, methods, and analysis", Dr. Prabhakar Raghavan
- \* "Human-robot interaction", Dr. Salvatore Anzalone
  
- \* "Scientific Bilateral Meeting", incontro tra il Research into Artifacts - Center for Engineering (RACE), University of Tokyo RACE e IAS-Lab, Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DEI), Padova, Italy. Programma: [http://robotics.dei.unipd.it/images/News/meeting\\_padova-tokyo-flyer.pdf](http://robotics.dei.unipd.it/images/News/meeting_padova-tokyo-flyer.pdf)
- \* "Corso nazionale Automazione industriale e robotica", SIRI, Vicenza, Italy Programma: [http://www.robosiri.it/pdf/CORSO\\_SIRI\\_2012.pdf](http://www.robosiri.it/pdf/CORSO_SIRI_2012.pdf)
- \* "Trasferimento tecnologico", Giornata di studio sulla Robotica Autonoma e il suo trasferimento alla robotica industriale incontro tra IAS-Lab e IT+Robotics. Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DEI), Padova, Italy.

#### Partecipazione a scuole per dottorandi:

- \* 2nd PLUS Advanced School on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing. "2D and 3D Visual Recognition: Approaches and Methods". Italian Institute of Technology (IIT), Genova, Italy
- \* International Computer Vision Summer School (ICVSS 2011). "Registration, Recognition and Reconstruction in Images and Video". University of Catania and University of Cambridge, Scicli, Italy

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- \* Robotica 2011, Milano, Italy, 16-19 November. 2011
- \* Gruppo di Lavoro AI\*IA in Sistemi Robotici Intelligenti (GLR), Rome, Italy, 14 June. 2012
- \* AI\*IA Workshop and Prize for Celebrating 100th Anniversary of Alan Turing's Birth (PAI. 2012), Rome, Italy, 15 June. 2012
- \* Robotica 2012, Milano, Italy, 7-9 November. 2012

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- \* Robotics Science and System (RSS2013), Berlin, Germany, June 24-28. 2013
- \* IEEE/RSJ International Conference on Robots and Systems (IROS 013), Tokyo, Japan, November 3-8. 2013
- \* IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2013), Tokyo, Japan, November 7-9. 2013
- \* IEEE European Modelling Symposium (EMS2013), Manchester, England, November 20-23. 2013

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori):

- \* Didattica di supporto al corso di Architettura degli Elaboratori per il Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione durante il secondo semestre del A.A. 2011/2012
- \* Didattica di supporto al corso di Architettura degli Elaboratori per il Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione durante il secondo semestre del A.A. 2012/2013
- \* Assistenza al laboratorio del corso di Elaborazione dei Dati Tridimensionali per il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica durante il secondo semestre del A.A. 2011/2012
- \* Assistenza al laboratorio del corso di Robotica Autonoma per il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica durante il secondo semestre del A.A. 2011/2012
- \* Assistenza al laboratorio del corso di Robotica Autonoma per il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica durante il secondo semestre del A.A. 2012/2013
- \* Attività di tutorato a supporto dei Corsi di Laurea di Ingegneria con un impegno di 100 ore da Ottobre 2012 a Luglio 2013
- \* Attività di tutorato a supporto dei Corsi di Laurea di Ingegneria con un impegno di 40 ore da Ottobre 2013 a Luglio 2014

## Parte 2 Ricerca

Robot Learning From Demonstration (RLfD) also called Imitation Learning is a programming paradigm that uses demonstrations in order to make a robot learn new tasks. Several approaches were adopted in RLfD: Schaal et al. used motion primitives to encode learning data, Akgun et al. extracted keyframes to correctly model a skill, Calinon et al. proposed an Hidden Markov Model/Gaussian Mixture Regression technique to reproduce human demonstrations in a multiple constraints environment. In the last years, Robot Learning from Demonstration (RLfD) has become a major topic in robotics research. The main reason for this is that direct programming a robot motion can be a very difficult and time consuming task. Acquiring examples from humans provides a powerful mechanism to simplify the process of programming complex robot motions.

In this thesis, a novel approach to Robot Learning From Demonstration is exploited. We analyzed how humans approach robots, and in particular to robot motion programming, in order to understand an effective way to let people teach new tasks to robots. We focus on allowing non expert users to naturally interact with robots to teach new behaviors.

This capability is useful in both industrial and service robotics scenarios.

In industrial robotics, workers skilled on the task to be performed very likely will not also be good robot programmers. A natural demonstration of the task could be the proper way to fast automatize the production process without the need of tedious and errors prone manual programming.

In service robotics, the robot will be able to learn new tasks by itself, interacting with non

skilled users in very different circumstances.

In the past, different modalities have been used in Robot Learning From Demonstration to convey the demonstrations from the teacher to the robot: motion sensors, kinesthetic teaching, or vision systems.

The main drawback of non-vision-based techniques is that the human cannot act in a natural way: motion sensors must be attached to the human body, while kinesthetic demonstrations involve robot motion guiding by a human performer. Vision system is usually not diffuse in this field because 2D computer vision is often slow and sensitive to clutter and occlusions.

The introduction of low-cost RGB-D sensors with good resolution and frame-rate has generated a rapid boosting of computer vision algorithms to estimate human pose, skeleton tracking and activities recognition.

In this work, novel action recognition algorithms have been developed to extract information about human motion by simply observing local flow in the actor body. Information have been collected from 3D motion flow extracted directly from the person point cloud, we compared these data with skeleton joint positions and orientations. Both 3D motion flow and skeleton joints has been analyzed using several descriptors and classifiers in order to compare the performances of these two methods.

The considered techniques use RGB-D data in order to maintain the spatial information about motion with respect the best 2D algorithms, which extract local features from consecutive video frames classifying actions by a bag-of-words approach and do not take track of where these features have been extracted.

Spatial information can be used as input for motion re-targeting techniques making an avatar replicate the same poses performed by an actor. Computer graphics uses such kind of techniques to generate off-line feasible motion for virtual characters, but robotics requires on-line methods to be applied in dynamic environments, in which sensors can provide feedback to avoid dangerous collisions, follow moving objects, or react to changing requests.

On-line robotics-oriented system has been developed to re-target motion from human to humanoids taking account of similar works previously proposed by Pollard, Dariush, and Miura. In the cited works, the mapping from human to robot is anthropomorphic.

On the other hand, you should consider manipulators if you would like to use a similar approach in an industrial environment. Some attempts using a anthropomorphic mapping have been proposed also for manipulators. This practice is good if the demonstrator is conscious to teach tasks to a robot, while a different approach can be adopted if he is acting in a natural way. For example, if the human knows that his arm directly controls a manipulator, the movement he perform will be concentrated on the arm, with no lower-body motion. A natural execution, instead, involves the whole body. In this work, we developed a novel mapping from the whole human body to a manipulator.

In this work a number of models suitable for Robot Learning by Demonstration are

tested. Some of them work well with well formed correct demonstrations, some others are feasible to reconstruct good trajectories from failed examples.

In particular this thesis deeply analyzed the possible capabilities of a novel Robot Learning from Failure Demonstration. We extended this model to adapt human demonstrations to robot degrees of freedom. In fact, the mapping between human and robot joints can generate a failed robot attempt, even starting from a successful human example. The model estimated using our approach can be updated using the attempts performed by the robot. This feature is very important to rapidly obtain correct robot trajectories by means of few human demonstrations.

The complete framework has been tested in several situations and with different robot joints. Some learned tasks came from a RGB-D action recognition dataset (IAS-Lab Action dataset) in order to simplify the comparison between different Robot Learning from Demonstration approaches. Actually, this process it is very difficult due the large variability in data input and in methods used to collect them. The dataset has been publically released in order to let compare our techniques with others developed in the field. We also aimed to foster research in the fields.

For the same reason, we released the code of the virtual robot models we developed as part of the Robot Operating System (ROS).

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore:  
Robot Learning by observing human actions.  
Emanuele Menegatti

### Parte 3 Pubblicazioni

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- [M. Munaro](#), G. Ballin, [S. Michieletto](#) and [E. Menegatti](#). "3D flow estimation for human action recognition from colored point clouds", *Journal on Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2013.
- [E. So](#), [M. Munaro](#), [S. Michieletto](#), [E. Menegatti](#) and S. Tonello. "3DComplete: Efficient Completeness Inspection using a 2.5D Color Scanner", *Computers in Industry - Special Issue on 3D Imaging in Industry, Elsevier*. 2013.
- [M. Munaro](#), [F. Basso](#), [S. Michieletto](#), [E. Pagello](#) and [E. Menegatti](#). "A Software Architecture for RGB-D People Tracking Based on ROS Framework for a Mobile Robot". Lee, Sukhan, Yoon, Kwang-Joon, Lee and Jangmyung eds. Springer Berlin Heidelberg. 2013. pp. 53-68.
- [S. Michieletto](#), [S. Ghidoni](#), [E. Pagello](#), M. Moro and [E. Menegatti](#). "Why teach robotics using ROS", *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems (JAMRIS)*. 2013.

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- [S. Michieletto](#), D. Zanin and [E. Menegatti](#). "NAO robot simulation for service robotics purposes". *European Modelling Symposium EMS2013 (EMS2013)*. 2013.

- [S. Michieletto](#), N. Chessa and [E. Menegatti](#). "Learning how to approach industrial robot tasks from natural demonstrations". *IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2013)*. 2013.
- [S. Michieletto](#), A. Rizzi and [E. Menegatti](#). "Robot learning by observing humans activities and modeling failures". *IROS workshops: Cognitive Robotics Systems (CRS2013)*. 2013.
- [M. Munaro](#), [S. Michieletto](#) and [E. Menegatti](#). "An evaluation of 3D motion flow and 3D pose estimation for human action recognition". *RSS Workshops: RGB-D: Advanced Reasoning with Depth Cameras*. 2013.
- [F. Basso](#), [M. Munaro](#), [S. Michieletto](#) and [E. Menegatti](#). "Fast and robust multi-people tracking from RGB-D data for a mobile robot". *In Proceedings of the 12th Intelligent Autonomous Systems (IAS) Conference, Jeju Island (Korea)*. 2012. pp. 265-276.
- [E. So](#), [M. Munaro](#), [S. Michieletto](#), [M. Antonello](#) and [E. Menegatti](#). "Real-Time 3D Model Reconstruction with a Dual-Laser Triangulation System for Assembly Line Completeness Inspection". *In Proceedings of the 12th Intelligent Autonomous Systems (IAS) Conference, Jeju Island (Korea)*. 2012. pp. 707-716.
- [E. So](#), [S. Michieletto](#) and [E. Menegatti](#). "Calibration of a Dual-Laser Triangulation System for Assembly Line Completeness Inspection". *IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE 2012); Magdeburg, Germany;*. 2012. pp. 138-143.
- [M. Munaro](#), [S. Michieletto](#), [E. So](#), D. Alberton and [E. Menegatti](#). "Fast 2.5D model reconstruction of assembled parts with high occlusion for completeness inspection". *Proceedings of the International Conference on Machine Vision, Image Processing and Pattern Analysis*. W. A. of Science Engineering and Technology eds. 2011. pp. 1718-1724.

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

- [S. Michieletto](#) and [E. Menegatti](#). "Human action recognition oriented to humanoid robots action reproduction". *In Matteo Baldoni, Federico Chesani, Bernardo Magnini, Paola Mello, Marco Montai (eds.), Popularize Artificial Intelligence, proceedings of the AI\*IA Workshop and Prize for Celebrating 100th Anniversary of Alan Turing's Birth (PAI. 2012), Rome, Italy, June. 2012*. pp. 35-40.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MICHIELETTO Stefano** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MICHIELIN Francesco** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MICHIELIN Francesco** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

Titolo borsa a tema vincolato: *Image processing in the transformed domain and its application to 3D contents*

Attività didattica seguita:

- Elenco dei corsi seguiti:
  - Statistical Methods, Prof. L. Finesso.
  - Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer.
  - Game Theory for Information Engineering, Prof. L. Badia.
  - Subspace Techniques for the Identification of Linear Systems, Prof. G. Picci.
- Elenco dei seminari seguiti:
  - My life in Silicon Valley, dr. Federico Faggin.
  - The scientific legacy of Hubble space telescope, prof. Robert Williams.
  - Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery, Prof. David Taubman.
- Elenco delle scuole di dottorato seguite
  - SSIE – Scuola Estiva in Ingegneria dell'Informazione in Bressanone (2011).
- Conferenze seguite:
  - 2nd International Conference on Consumer Electronics, 3-5 September 2012, Berlin.
  - 3rd International Conference on Consumer Electronics, 8-11 September 2013, Berlin.

Periodi Mobilità:

- 9/10/2011 – 30/09/2012 laboratori Sony Deutschland GmbH (STC).
- 1/2/2013 – 31/07/2013 laboratori Sony Deutschland GmbH (STC).

### Descrizione attività di ricerca:

#### Primo anno:

Il primo anno di dottorato è stato dedicato allo studio di tecniche riguardanti analisi ed elaborazione di dati 3D video, con particolare riguardo agli algoritmi e ai metodi allo stato dell'arte nell'ambito della stereoscopia. Sono stati specialmente analizzati vari problemi nella stima della profondità lungo i contorni degli oggetti. A questo proposito è stato sviluppato un nuovo algoritmo, per il quale è stata sottomessa una richiesta di brevetto [P1], che permette di sfruttare l'interazione da parte di un utente per aumentare l'affidabilità della stima della profondità in queste regioni dell'immagine. In particolare il metodo implementato permette all'utente di evidenziare un possibile errore nella stima marcando grossolanamente i contorni di un oggetto. Questa informazione viene quindi utilizzata per un filtraggio direzionale al fine di favorire una conseguente segmentazione. Infine in queste aree la stima della profondità viene ricalcolata riuscendo ad allineare i risultati ottenuti con i contorni degli oggetti.

#### Secondo anno:

Sono stati trascorsi gli ultimi tre mesi del primo anno ed i primi nove mesi del secondo anno di dottorato presso i laboratori Sony Deutschland GmbH (STC). In particolare durante il secondo anno si è rivolta l'attenzione a metodi di segmentazione e stima del moto. In questo scenario sono stati sviluppati un nuovo algoritmo per la stima del moto ed un nuovo criterio per la stima delle corrispondenze.

L'algoritmo sviluppato per la stima del moto risulta essere ottimizzato per una possibile implementazione in una scheda grafica ed è stata preparata una richiesta di brevetto che risulta essere in attesa di approvazione [P2]. In particolare un'iniziale implementazione indica la possibilità di ottenere risultati in tempo reale. Questo potrebbe portare all'implementazione real-time di algoritmi, come super-risoluzione, riduzione del rumore, o interpolazione di frame, che sfruttano una precedente stima del moto tra frame consecutivi.

Il nuovo criterio per la stima delle corrispondenze si basa su una cross correlation su immagini binarizzate. In particolare i risultati ottenuti mostrano la possibilità di ridurre notevolmente la complessità computazionale riuscendo ad ottenere allo stesso tempo una stima più precisa [C3].

Anche in questo caso è stata sottomessa una richiesta di brevetto [P3].

#### Terzo anno:

Il primo periodo relativo al terzo anno di dottorato è stato dedicato allo studio di algoritmi per la stima congiunta di moto e disparità in sequenze stereo. In particolare modo si è cercato di sfruttare la correlazione esistente tra vettori di movimento e di profondità. In questo scenario è stato sviluppato un nuovo algoritmo gerarchico che ad ogni iterazione utilizza una mappa di consistenza tra i vettori per permettere una stima complessivamente più robusta. In particolare sono state utilizzate le conoscenze studiate nei precedenti anni di dottorato, come ad esempio la cross correlation su immagini binarizzate [C3, P3].

Durante quest'anno si è inoltre iniziata una collaborazione con la Technischen *Universität* di Dortmund (TUD) e con il German Research Centre for Artificial Intelligence (DFKI) di Kaiserslauten nell'ambito della ricostruzione tridimensionale di oggetti. Questa collaborazione ha portato allo sviluppo di un algoritmo che permette la costruzione di un modello tridimensionale a partire da una sequenza di immagini non registrate. La posizione della camera relativa ad ogni immagine viene inizialmente calibrata mediante una procedura sviluppata presso DFKI. La localizzazione di coppie di immagini vicine permette quindi di applicare una stima densa di corrispondenze tra le stesse. Questa viene eseguita attraverso la combinazione dell'algoritmo ricorsivo precedentemente implementato e l'algoritmo di stima dell'Optical Flow sviluppato presso TUD, permettendo di ottenere un risultato robusto e preciso allo stesso tempo. Infine viene calcolata una misura di consistenza delle stime consecutive di coppie di immagini aumentando l'affidabilità della ricostruzione di una nuvola di punti tridimensionale. I risultati ottenuti sono stati quindi confrontati con un ground truth fornito dal sistema OrcaM disponibile presso DFKI confermando l'accuratezza della ricostruzione. Questa collaborazione ha portato inoltre alla sottomissione di due brevetti [P4, P5].

Nel periodo di sei mesi da febbraio 2013, a luglio 2013 trascorso presso i laboratory Sony Deutschland GmbH (STC), ci si è anche focalizzati sulla combinazione di tecniche attive e passive per la stima della geometria della scena. In particolare si è considerato un array di camere standard e una camera a tempo di volo (ToF). A questo proposito è stata seguito un lavoro di tesi magistrale riguardante la super-risoluzione della mappa di profondità relativa al ToF guidata da un'immagine a colori ad alta risoluzione. È stata quindi sottomessa una richiesta di brevetto [P6]. Inoltre l'algoritmo di super-risoluzione è stato integrato nel progetto di ricostruzione tridimensionale.

### Titolo definitivo tesi

Disparity and Motion Estimation and their Application to 3D Reconstruction

### Elenco delle pubblicazioni su convegno internazionale

- Francesco Michielin, Giancarlo Calvagno, Piergiorgio Sartor, Oliver Erdler. *A Wavelets base deblocking technique for DCT based compressed materials*. ICCE 2012 Berlin, Sept. 5-8 2013.
- Francesco Michielin, Giancarlo Calvagno, Piergiorgio Sartor, Oliver Erdler. *A wavelets based de-ringing technique for DCT based compressed visual data*. ICIP 2013 Melbourne, Sept. 15-18 2013.
- Francesco Michielin, Giancarlo Calvagno, Piergiorgio Sartor, Oliver Erdler. *A true motion estimation method based on binarized cross correlation*. ICCE 2013 Berlin, Sept. 8-11 2013.

### Brevetti

- F. Michielin, P. Sartor, *Automatic refinement of user assisted object segmentation* (Patent pending).
- F. Michielin, P. Sartor, E. Thimo, C. Unruh, *Parallel Motion Estimation* (Patent pending).
- F. Michielin, P. Sartor, *Multi-mode Motion Estimation with binarized cross correlation* (Patent pending).
- F. Michielin, M. Brueggemann, B. Krolla, O. Erdler, P. Sartor, P. Springer, E. Thimo, Y. Incesu, *Combined Recursive Block Matching and Optical Flow Correspondence Vector Estimation* (Patent pending).
- A. Vianello, F. Michielin, P. Sartor, *Sensor fusion for depth super-resolution* (Patent pending).
- O. Wasenmüller, B. Krolla, Y. Incesu, T. Emmerich, F. Michielin, *Correspondence Chaining for Precise Dense 3D Reconstruction* (Patent pending).

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MICHELIN Francesco** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MUNARETTO Daniele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MUNARETTO Daniele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

#### Parte 1 Didattica

Elenco dei corsi seguiti:

- ✓ Dynamics over networks (SCH46)
- ✓ Applied linear algebra (DEI002)
- ✓ Game theory for information engineering (DEI064)
- ✓ Statistical methods (DEI057)

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:

- ✓ *Energy-efficient wireless networks*, Prof. Izhak Rubin, at Politecnico di Torino.
- ✓ *Multiantenna transmissions: theoretical bounds and applications in LTE and LTE-adv systems*, Federico Boccardi (Alcatel-Lucent Bell Labs)
- ✓ *Design and Analysis of Random Access Networks with Interference Alignment*, Dr. Francesco Rossetto (DLR)
- ✓ *Può l'informazione modificare il cervello?*, prof. Lamberto Maffei
- ✓ *Ubiquitous Mobile Computing, Communication and Networking*, Dr. Qinqing Zhang
  
- ✓ *Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators*, G. De Nicolao.
- ✓ *From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving*, A. Broggio.
- ✓ *From nanotechnology to nanoscience*, F. Beltram.
- ✓ *Gene regulatory networks in cancer: a probabilistic approach*, M. Vidyasagar.
- ✓ *The scientific legacy of Hubble space telescope*, R. Williams.
- ✓ Seminar on LTE and LTE-A evolution and standardization, L. Ariyavisitakul.
- ✓ *Energy Efficient Wireless Communication: Impact of Energy Harvesting and Processing Energy*, E. Erkip.
- ✓ *Wireless MAC Processors: Programming and Running MAClets on Hard-Coded Devices*, I. Tinnirello and F. Gringoli.
- ✓ *Some Recent Work at JHUAPL in Advanced Communications and Networking*, B. Doshi.
- ✓ *Resource allocation in multi-hop wifi networks*, L. Giarrè.
  
- ✓ *MIMO systems and propagation channels*, Prof. Andy Prof. Molisch
- ✓ *Sustainable Energy Engineering*, prof. M.Ehsani

- ✓ *Cooperative Multi-Agent Learning and Coordination for Cognitive Radio Networks*, Prof. W. Zame
- ✓ *The Japanese Smart Grid and its Related Power Electronics*, Prof. Hirofumi Akagi

Partecipazione a scuole internazionali per dottorandi:

Wireless Information Theory Summer School, Oulu, Finland  
on July 27-29, 2011;

Partecipazione a Conferenze Nazionali/Internazionali:

- Italian Networking Workshop 2011
- IEEE ISCC 2011
- IEEE WOWMOM 2011
- Next Generation Service Delivery Platforms (NG SDP), GI/ITG Workshop, 2011
- IEEE WCNC 2012
- IEEE Globecom 2012
- IEEE ICC 2013

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori):

- Didattica frontale: Telecomunicazioni CORSO UNIFICATO 12/13;

Permanenza all'estero:

École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Sept.-Dec. 2013, under the supervision of Prof. P. Frossard.

La finalità del progetto consiste nel disegnare e implementare un sistema di allocazione di video frames per applicazioni upstream in base alla mobilità della sorgente (cellulare) e ai cambiamenti della scena, soggetto a limitazioni del canale wireless. Lo scopo è di massimizzare la qualità del video trasmessa attraverso la selezione ottima della codifica e dello scheduling al trasmettitore.

Parte 2 Ricerca

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore:

Title: **Video transport optimization techniques design and evaluation for next generation cellular networks**

Supervisor: Prof. M. Zorzi

Lo studio di tecniche efficienti per la trasmissione ottima di contenuti multimediali, come il video, deve essere condotto sulla base di avanzati meccanismi nuovi o già esistenti nelle reti 3G. Partendo dal nuovo concetto nella comunità di misurare la qualità ricevuta

di un video in termini di QoE (Quality of Experience) invece di QoS (Quality of Service), un primo studio sull'ottimizzazione delle risorse wireless da usare in uplink per contenuti generati dall'utente è presentato in [C13]. In questo lavoro l'impatto della popolarità dei contenuti in una rete cellulare è cruciale per stimare la qualità percepita dagli utenti serviti dalla rete stessa.

L'analisi sulla differenziazione dei video in upload, basata sulla popolarità dei video stessi e sulla loro QoE, ha permesso di trarre delle conclusioni sul migliore trade-off dei due, i.e., QoE e popolarità dei video, in riferimento alle risorse wireless disponibili in uplink nella Base Station.

Successivamente, l'ottimizzazione delle risorse per la trasmissione di video su reti LTE/LTE-A è stata studiata a livello di architettura di rete in [C9, C11], portando alla luce problematiche in cui ci siamo posti l'interrogativo su quali siano le metriche con maggior impatto sulla QoE percepita dall'utente in una rete cellulare dal livello fisico (802.21) a quello applicativo, passando a livello di architettura attraverso la Core Network tramite protocolli per l'ottimizzazione del trasporto video.

A margine di questo studio principale, la trasmissione efficiente del video è stata anche parzialmente studiata su reti di sensori, focalizzando l'attenzione sulla parte di codifica di canale per real-time streaming [C12].

Un'altra tematica attinente a quella principale descritta è rappresentata dallo studio di tecniche di allocazione opportunistica di risorse dal livello di canale a quello applicativo considerando tecniche di codifica video "scalabile", H.264-AVC (Advanced Video Coding)/SVC (Scalable Video Coding) per applicazioni di tipo video streaming per reti cellulari in modalità broadcast/multicast [C8, C10, J4].

Lo studio in uno step successivo si è focalizzato su tecniche efficienti per la trasmissione ottima di contenuti video sulla base di meccanismi avanzati nell'ambito delle reti cellulari di prossima generazione, cioè Long Term Evolution (LTE, 3.9G) e LTE-Advanced (LTE-A, 4G). Partendo dai lavori del primo anno di dottorato, con focus sulle metriche che meglio riflettono la Quality of Experience (QoE) degli utenti, sulla ottimizzazione delle risorse wireless e sull'allocazione di rate di canale e video (applicativo) per servizi broadcast/multicast (finalizzato in [C8]), sono state approfondite alcune ulteriori considerazioni a livello di architettura di rete.

Un primo studio delle architetture di rete che meglio promettono di migliorare la trasmissione video per le nuove reti cellulari è stato affrontato combinando la mobilità dei contenuti (Content Delivery Networks, CDNs) con la mobilità degli utenti [C7] pur mantenendo il target QoE degli utenti [J3] definito dall'operatore mobile, il tutto compatibilmente con gli standard definiti dal "3rd Generation Partnership Project" (3GPP).

La scelta più idonea del percorso che il contenuto deve seguire dal server all'interno o all'esterno della Core Network dell'operatore fino all'utente finale è importante al fine della QoE percepita (ritardi, throughput), di conseguenza un algoritmo per la selezione del percorso a livello di Core Network e di rete di accesso è stato proposto in [C6], la cui applicazione in un'architettura più complessa e la cui integrazione con esistenti meccanismi di adattamento dei contenuti sono state affrontate in [J2], i cui risultati sono incoraggianti per implementazioni pratiche.

Un lavoro a parte è [C5], dove tecniche di codifica, simili a quelle affrontate al primo

anno per trasmissioni su reti cellulari e di sensori, sono state studiate per comunicazioni sottomarine, al fine di migliorare la trasmissione di segnali a livello di efficienza energetica e robustezza del segnale stesso (trade-off).

Sulla scia degli studi fin qui svolti sull'architettura di rete di prossima generazione, i meccanismi disegnati per ottimizzare il trasporto video sono stati analizzati e simulati sulla piattaforma ns-3, un simulatore di rete in grado di riprodurre fedelmente il funzionamento di entità della rete LTE sia a livello core che access.

Di conseguenza, il lavoro di selezione del percorso ottimale che il contenuto deve seguire dal server all'interno o all'esterno della Core Network dell'operatore fino all'utente finale è stato completato tramite simulazioni in ns-3 dove l'impatto del nostro meccanismo sulla latency della rete è risultato in grado di migliorare di oltre il 50% la performance di soluzioni dello stato dell'arte [C4, J1].

Tale meccanismo di selezione del percorso video nella rete è stato integrato con altri 2 meccanismi in questi lavori che permettono i) il filtraggio di video frames e ii) il video traffic shaping nella rete, come evidenziato concettualmente e tramite simulazioni preliminari in [J2].

Il resource management della rete per servizi video è stato studiato anche sulla base della differenza di qualità percepita dell'utente a seconda del tipo di video richiesto (dinamico, statico, etc...). La metrica del SSIM (Structural Similarity) index è stata quindi studiata come metrica oggettiva del QoE e messa in relazione col rate dell'applicazione per ottimizzare l'uso di risorse in rete cellulari per diversi algoritmi di trasmissione video e per il controllo di ammissione dei video nella rete [C2].

La distribuzione ottimale dei contenuti video all'interno di una rete cellulare in modo tale da diminuire i costi associati alla richiesta dei chunks dai servers ai terminali e in modo tale da ridurre i ritardi è stata affrontata in [C1]. Tale sistema proposto è stato anche implementato in un testbed in piccola scala all'interno del progetto europeo MEDIEVAL (MultiMEDia transport for mobile Video AppLications), <http://www.ict-medieval.eu/>. Infine, l'analisi dell'importanza dell'uso di algoritmi cross-layer per trarre il massimo beneficio dalle reti di prossima generazione è stata discussa in [C3]. In particolare, è stato confrontato l'uso contemporaneo delle informazioni di sistema riguardanti il livello applicativo (codifica video H.264/SVC) e il livello fisico (codifica e modulazione adattiva) per prendere le decisioni di scheduling e confrontato con il caso sequenziale, cioè non cross-layer. L'analisi quantifica i benefici dell'uso congiunto (cross-layer) di tali informazioni in un sistema di trasmissione video unicast e broadcast.

### Parte 3 Pubblicazioni

#### Journal papers and Magazines

[J1] D. Munaretto, M. Zanforlin, M. Zorzi, "Online Path Selection: a VideoDelivery Framework for Next Generation Cellular Networks", to be submitted to *IEEE Transactions on Multimedia*, 2013.

[J2] B. Fu, D. Munaretto, T. Melia, B. Sayadi, W. Kellerer, "Analyzing the Combination of

Different Approaches for Video Transport Optimization for Next Generation Cellular Networks”, *IEEE Network Magazine, Special Issue on Video over Mobile Networks*, March-April 2013.

[J3] T. Melia, **D. Munaretto**, L. Badia, M. Zorzi, ”Online QoE Computation for Efficient Video Delivery over Cellular Networks”, *IEEE COMSOCMMTC E-letter*, March 2012.

[J4] **D. Munaretto**, D. Jurca, J. Widmer, ”A Resource Allocation Framework for Scalable Video Broadcast in Cellular Networks”, *Springer Mobile Networks and Applications*, 16 (6): pp 794-806, 2011.

### Conference papers

[C1] **D. Munaretto**, F. Giust, G. Kunzmann, M. Zorzi, ”Performance analysis of dynamic adaptive video streaming over mobile content delivery networks”, submitted to *IEEE ICC 2014*.

[C2] M. Zanforlin, **D. Munaretto**, A. Zanella, M. Zorzi, ”SSIM-based video admission control and resource allocation algorithms”, submitted to *IEEE ICC 2014*.

[C3] I. Ahmed, L. Badia, **D. Munaretto**, M. Zorzi, ”Analysis of PHY/Application Crosslayer Optimization for Scalable Video Transmission in Cellular Networks”, *IEEE WoWMoM*, June 2013.

[C4] **D. Munaretto**, M. Zanforlin, M. Zorzi. ”Performance evaluation in ns-3 of a video delivery framework for next generation cellular networks”, *IEEE ICC (IIMC)*, June 2013.

[C5] B. Tomasi, **D. Munaretto**, M. Zorzi. ”Realtime redundancy allocation for time-varying underwater acoustic channels”, *ACM WUWNet*, November 2012.

[C6] **D. Munaretto**, T. Melia, S. Randriamasy, M. Zorzi. ”Online path selection for video delivery over cellular networks”, *IEEE Globecom (QoEMC)*, December 2012.

[C7] R. Costa, T. Melia, **D. Munaretto**, M. Zorzi. ”When Mobile Networks meet Content Delivery Networks: challenges and possibilities”, *ACM MobiArch*, August 2012.

[C8] **D. Munaretto**, M. Zorzi. ”Robust opportunistic broadcast scheduling for scalable video streaming”, *IEEE WCNC*, April 2012.

[C9] T. Melia, S. Randriamasy, **D. Munaretto**, M. Zorzi. ”QoE optimization with network layer awareness on hybrid wireless network”, *Next Generation Service Delivery Platforms (NG SDP), GI/ITG Workshop*, October 2011.

[C10] **D. Munaretto**. ”Opportunistic Scheduling and Rate Adaptation for Scalable Broadcast Video Streaming”, *IEEE WoWMoM 2011*, June 2011.

[C11] N. Amram, B. Fu, G. Kunzmann, T. Melia, **D. Munaretto**, M. Zorzi. ”QoE-based Transport Optimization for Video Delivery over Next Generation Cellular Networks”, *IEEE ISCC 2011*, June 2011.

[C12] M. Petracca, M. Ghibaudi, C. Salvadori, P. Pagano, **D.Munaretto**. "Performance Evaluation

of FEC techniques based on BCH codes in Video Streaming over Wireless Sensor Networks", *IEEE ISCC 2011*, June 2011.

[C13] A. E. Essaili, E. Steinbach, **D. Munaretto**, S. Thakolsri, W. Kellerer. "QoE-driven resource

optimization for user generated video content in next generation mobile networks", *IEEE ICIP 2011*, Sep 2011.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MUNARETTO Daniele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MUNARO Matteo** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **MUNARO Matteo** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **Parte 1 Didattica**

#### Corsi seguiti

- Corsi di dottorato tenuti presso il DEI
  - Game Theory for Information Engineering (Badia)
  - Subspace Identification Techniques for Stochastic Systems (Picci)
  - Statistical Methods (Finesso)
  - Applied Linear Algebra (Wimmer/Damm)
- Corso Nazionale Automazione e Robotica, 11-15/06/2012, organizzato dall'Associazione Italiana di Robotica e Automazione (SIRI) presso Confindustria Vicenza.
- Ottobre 2013: Corso STEPS (Seminars Towards Enterprise for PhD Students) – modulo Sviluppo & Carriera (12 ore)

#### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- 2nd PLUS Advanced School on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing: “2D and 3D Visual Recognition: Approaches and Methods” – 21-24 Marzo 2011, presso Italian Institute of Technology (IIT), Genova.
- International Computer Vision Summer School 2011: “Registration, Recognition and Reconstruction in Images and Video” – 11-16 Luglio 2011, Scicli (Ragusa).

#### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- Distinguished Lecture del Prof. Lamberto Maffei: *Può l'informazione modificare il cervello?*
- Distinguished Lecture del Prof. Federico Faggin: *My life in Silicon Valley.*
- Seminario del Dr. Alessandro Farinelli: *Agent Coordination Using the Max-Sum Algorithm.*
- Seminario del Dr. Alberto Pretto: *Visual SLAM: from sparse to dense maps.*
- Seminario del Dr. Edmond So: *Relative Localization for a Hopping Robot on an Asteroid Surface using Visual Odometry.*
- Seminario del Dr. Salvatore Anzalone: *Personal Robots: beyond service robotics.*
- Seminario del Prof. Rene Mayorga: *Towards Artificial/Computational Sapience (Wisdom).*

- Loris Nanni: *Computer Vision & Machine Learning* (DEI, Padova)
- Alberto Broggi: *From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving* (DEI, Padova)
- Prabhakar Raghavan: *Social networks - models, methods and analysis* (DEI, Padova)
- *Michael Shanzis*: *How Pixar Makes Movies* (ETH, Zurich)
- Lukas Bossard: *Apparel Classification with Style* (ETH, Zurich)
- Workshop on "Veicoli intelligenti e loro applicazioni in ambito logistico", CNR Bologna, 16 Aprile 2012 (ho presentato anche il mio lavoro di ricerca).
- Service Robotics & Engineering: A Scientific Bilateral Meeting between IAS-Lab (University of Padova) and RACE (University of Tokyo), DEI - Padova, 11 Gennaio 2012 (ho presentato anche il mio lavoro di ricerca).
- Workshop and hands-on seminar su Brain-Computer Interface (G.tec and University of Padova) (DEI, Padova)

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- Partecipazione a *International Conference on Computer Vision (ICCV)* 2011, Barcelona, 6-13 Novembre 2011.
- Partecipazione a *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* 2012, Vilamoura (Portugal), October 2012.
- Partecipazione alla *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* 2013, Karlsruhe (Germany), May 6-10, 2013.

#### Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- 28 ore di didattica di supporto per il laboratorio del corso "Architettura degli elaboratori", A.A. 2011/12.
- 100 ore di tutor junior così ripartite:
  - 50 ore tra lezioni e assistenza al laboratorio di Architettura degli Elaboratori (corso I anno laurea triennale in Ingegneria dell'Informazione), A.A. 2012/13.
  - 50 ore tra lezioni e assistenza al laboratorio di Elaborazione Dati 3D (corso della magistrale in Ingegneria Informatica), A.A. 2012/13.

#### Permanenza all'estero

- **15 Settembre 2012 – 15 Dicembre 2012**: periodo di mobilità al *Computer Vision Laboratory* (BIWI) dell'ETH di Zurigo (Svizzera), supervisionato dal Prof. Luc Van Gool e dai post-doc Andrea Fossati e Helmut Grabner per lo sviluppo di tecniche di re-identificazione a lungo termine di persone da sensori RGB-D.

## **Parte 2 Ricerca**

Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato (max 2 pagine) mettendo particolarmente in evidenza i risultati originali conseguiti.

Durante il dottorato, la ricerca effettuata ha avuto come principale tematica quella di realizzare algoritmi robusti per la percezione di persone da robot mobili. Questo

argomento, che costituirà l'asse principale per la tesi di dottorato, ha incluso lo sviluppo di algoritmi per individuazione e tracking di persone e riconoscimento di azioni a partire da dati RGB-D, acquisiti ad esempio con sensori consumer quali Microsoft Kinect.

In particolare, è stato sviluppato un innovativo approccio alla people detection da dati RGB-Depth che sfrutta una cascata di algoritmi applicati a dati 3D e 2D per ottenere risultati molto robusti. Il framework sviluppato permette di effettuare il tracking di più persone in coordinate 3D prendendo in considerazione il loro moto e il loro aspetto, in termini di colori dei vestiti indossati ed è stato pensato per rilevare persone anche se in gruppo [9, 10].

Il metodo sviluppato permette di raggiungere performance paragonabili ai migliori algoritmi allo Stato dell'Arte, ma essendo molto meno oneroso dal punto di vista computazionale e non richiedendo l'utilizzo di GPU computing. Il fatto di non dover utilizzare la GPU permette di risparmiare notevolmente nei consumi, aspetto molto importante in applicazioni di robotica mobile [15].

L'algoritmo di people detection è stato rilasciato come *open source* nella *Point Cloud Library* ([www.pointclouds.org](http://www.pointclouds.org)), una libreria software che contiene numerosi algoritmi di base ed avanzati per l'elaborazione di dati tridimensionali. Ultimamente è stato anche esteso all'interno di un progetto sponsorizzato dal *National Institute for Standards and Technology* (NIST) e dal *Southwest Research Institute* (SwRI) che aveva come scopo lo sviluppo di algoritmi di people detection e tracking da dati RGB-D per ambienti industriali.

Per valutare il sistema di tracking di persone non solo in base all'accuratezza misurata nell'immagine, ma anche in coordinate metriche nello spazio 3D, è stato acquisito un dataset (*Kinect Tracking Precision dataset*) (che verrà reso pubblico) con una Microsoft Kinect in una stanza di motion capture. Test estensivi sono stati quindi effettuati su questo dataset e su dataset già esistenti in letteratura per differenti configurazioni del sistema di tracking [3].

Per estendere la durata del tracking e permettere la re-identificazione di persone da agenti/robot diversi, sono state elaborate tecniche di people re-identification che utilizzassero i dati RGB-D come fonte di informazione. Inoltre, la recente introduzione di algoritmi veloci e robusti per la scheletrizzazione di persone da immagini di profondità, ha permesso di utilizzare anche questa informazione per estrarre delle feature per la re-identification. Questi skeletal tracker permettono di ottenere posizione e orientazione 3D dei giunti principali del corpo umano. Nel corso del dottorato, queste posizioni sono state sfruttate come keypoint stabili e semanticamente significativi, che hanno permesso di risolvere i problemi di stabilità e matching tipici dei keypoint detectors allo Stato dell'Arte. E' stata quindi proposta una signature della persona che calcolasse feature locali attorno a questi keypoint scheletrici e numerosi esperimenti hanno dimostrato la validità di questo approccio [13], che ha ottenuto risultati superiori ai migliori lavori nel settore e che sembra promettente per essere integrato nel framework di tracking sviluppato sempre all'interno di questo dottorato.

Parallelamente a questa ricerca, sono state sviluppate tecniche per re-identificare persone a lungo termine tramite sensori RGB-D di tipo consumer. In collaborazione con l'ETH di

Zurigo, dove è stato svolto un periodo di mobilità, è stato realizzato un sistema capace di riconoscere persone a distanza di tempo e anche in caso di cambiamenti di vestiti. A questo scopo, sono state sviluppate tecniche di tipo *biometric*, come il riconoscimento facciale, e *soft-biometric*, quali il riconoscimento basato sulla lunghezza degli arti/links e forma 3D del corpo umano. Per ottenere tali dati in tempo reale e in maniera che non fosse necessaria la collaborazione delle persone analizzate, sono stati utilizzati sensori RGB-D e algoritmi di scheletrizzazione introdotti precedentemente [16].

Inoltre, per poter confrontare persone in posa qualunque, sono stati sviluppati algoritmi per la trasformazione delle point cloud delle persone in una posa standard che permettesse un diretto confronto tra acquisizioni effettuate in fase di training e testing. Le tecniche sviluppate permettono anche di ricostruire in 3D a 180/360° le persone senza la loro collaborazione (utile ad esempio per sistemi di videosorveglianza) per ottenere una maggiore precisione nella re-identificazione. Inoltre, sono stati proposti metodi di fusione tra le diverse tecniche di riconoscimento implementate che hanno portato a migliorare le performance della re-identificazione [14].

Per i lavori sulla re-identificazione sono stati creati dei nuovi dataset di persone esplicitamente pensati per questa tematica di ricerca e per sensori RGB-D (*BIWI RGBD-ID* and *IAS-Lab RGB-ID* datasets). Poiché non ne esistevano di disponibili in letteratura, sono stati resi pubblici per promuovere la ricerca e il confronto in questo campo.

Grazie agli algoritmi di people detection e tracking in real-time realizzati in questo dottorato, si è reso possibile ai robot mobili di poter effettuare in real time anche compiti di più alto livello, quali il riconoscimento di azioni umane. In particolare, come parte di questa ricerca, sono stati proposti e confrontati algoritmi di riconoscimento di azioni che si basano sul movimento dei punti della point cloud della persona nel tempo e altri che sfruttano il movimento dei giunti dello scheletro. In particolare, il primo metodo sfrutta un innovativo calcolo del flusso di moto dei punti in 3D e un nuovo descrittore a griglia 3D per codificare il moto parziale delle varie parti del corpo in un unico vettore. Un nuovo dataset (*IAS-Lab Action* dataset) che contiene RGB, depth e scheletro delle persone è stato acquisito e reso pubblico. Grazie all'elevato numero di azioni (15) e attori diversi (12), si è potuto validare questa tecnica e mostrare come essa raggiunga risultati superiori a quelli ottenibili con la codifica della sola posizione dei giunti dello scheletro [11, 12, 1].

Come tematica secondaria, durante il periodo di dottorato è stata svolta anche una collaborazione riguardante il progetto europeo 3D Complete, che prevedeva la realizzazione di un sistema di controllo qualità in 3D basato su una tecnologia di ricostruzione 3D in tempo reale. E' stata quindi effettuata ricerca per realizzare algoritmi di rilevazione e triangolazione laser da immagini e innovativi metodi di fusione di dati provenienti da due diversi laser e da una telecamera a colori [2, 5, 8].

Infine, sono stati studiati anche algoritmi per il coordinamento decentralizzato di un gruppo di robot che possano comunicare tra di loro. In particolare [7], è stato proposto di utilizzare un approccio innovativo che fosse kinodinamico greedy per la collision avoidance di ogni singolo robot e utilizzasse l'algoritmo Max-Sum per il coordinamento multi-robot.

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore

Titolo: Robust Perception of Humans for Mobile Robots

Sottotitolo: RGB-Depth Algorithms for People Tracking, Re-Identification and Action Recognition

Supervisore: Prof. Emanuele Menegatti

**Parte 3 Pubblicazioni**

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- [1] **M. Munaro**, G. Ballin, S. Michieletto and E. Menegatti. *3D flow estimation for human action recognition from colored point clouds*. Journal on Biologically Inspired Cognitive Architectures, 2013.
- [2] E. So, **M. Munaro**, S. Michieletto, E. Menegatti, S. Tonello. *3DComplete: Efficient Completeness Inspection using a 2.5D Color Scanner*. Computers in Industry - Special Issue on 3D Imaging in Industry, Elsevier, 2013.
- [3] **M. Munaro**, E. Menegatti. *Fast RGB-D People Tracking for Service Robots*. Submitted to Autonomous Robots Journal (SUBMITTED).

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- [4] L. Brignone, **M. Munaro**, AG. Allais, J. Opderbecke. *First sea trials of a laser aided three dimensional underwater image mosaicing technique*. IEEE Oceans Conference, Santander, Spain 2011.
- [5] **M. Munaro**, S. Michieletto, E. So, D. Alberton, E. Menegatti. *Fast 2.5D model reconstruction of assembled parts with high occlusion for completeness inspection*. International Conference on Machine Vision, Image Processing, and Pattern Analysis (ICMVIIPA), Venice, Italy 2011.
- [6] **M. Munaro**, A. Cenedese. *Scene specific people detection by simple human interaction*. Workshop on Human Interaction in Computer Vision (HICV), in 13th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Barcelona, Spain 2011.
- [7] N. Boscolo\*, R. De Battisti\*, **M. Munaro**, A. Farinelli and E. Pagello. *A distributed kinodynamic collision avoidance system under ROS*. In Proceedings of the 12th Intelligent Autonomous Systems (IAS) Conference, Jeju Island (Korea), 2012. (\* means equal contribution.)
- [8] E. So, **M. Munaro**, S. Michieletto, M. Antonello, E. Menegatti. *Real-Time 3D Model Reconstruction with a Dual-Laser Triangulation System for Assembly Line Completeness Inspection*. In Proceedings of the 12th Intelligent Autonomous Systems (IAS) Conference, Jeju Island (Korea), 2012.
- [9] **M. Munaro**\*, F. Basso\*, S. Michieletto and E. Menegatti. *Fast and robust multi-people tracking from RGB-D data for a mobile robot*. In Proceedings of the 12th Intelligent Autonomous Systems (IAS) Conference, Jeju Island (Korea), 2012. (\* means equal contribution.)
- [10] **M. Munaro**, F. Basso and E. Menegatti. *Tracking people within groups with RGB-D data*. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2012, Vilamoura (Portugal), 2012.

- [11] G. Ballin, **M. Munaro** and E. Menegatti. *Human action recognition from RGB-D frames based on real-time 3D optical flow estimation*. In Proceedings of Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) 2012, Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 196, Springer, 2012, pp 65-74.
- [12] **M. Munaro**, S. Michieletto and E. Menegatti. *An evaluation of 3D motion flow and 3D pose estimation for human action recognition*. In Proceedings of Robotics Science and Systems 2013: Workshop on RGB-D - Advanced Reasoning with Depth Cameras, Berlin (Germany), 2013.
- [13] **M. Munaro**, S. Ghidoni, D. Tartaro, E. Menegatti. *People Re-Identification with Skeleton-based Keypoints*. Submitted to ICRA 2014 (SUBMITTED).
- [14] **M. Munaro**, A. Basso, A. Fossati, L. Van Gool, E. Menegatti. *3D Reconstruction of Freely Moving People for Re-Identification*. Submitted to ICRA 2014 (SUBMITTED).

*Book Chapters:*

- [15] **M. Munaro**, F. Basso, S. Michieletto, E. Pagello and E. Menegatti. *A Software Architecture for RGB-D People Tracking Based on ROS Framework for a Mobile Robot*. Frontiers of Intelligent Autonomous Systems, Volume 466, pp 53-68, Springer 2013.
- [16] **M. Munaro**, A. Fossati, A. Basso, E. Menegatti and L. Van Gool. *One-Shot Person Re-Identification with a Consumer Depth Camera*, Book Chapter in "Person Re-Identification", Springer, 2013.

*Articoli su riviste divulgative italiane:*

- [17] **M. Munaro**. *Vedere il mondo in 3D*. Robotica Autonoma, Novembre 2011.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MUNARO Matteo** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **PASQUALOTTO Elisabetta** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **PASQUALOTTO Elisabetta** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Titolo borsa a tema vincolato: Sviluppo di biosensori plasmonici

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

#### **Parte 1 Didattica**

Corsi seguiti:

- Dose, effect, threshold (Prof. Trevisan)
- Dynamical models in system biology (Prof. Altafini)
- Bioelectromagnetics (Prof. Minelli)
- Applied linear algebra (Proff. Damm e Wimmer)
- Statistical Methods (Prof. Finesso)

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

- "Può l'informazione modificare il cervello?", impact lecture tenuta dal Prof. Maffei della Scuola Normale Superiore di Pisa
- "Microfluidic technology for biomedical application", seminario tenuto dal Dr. Elvassore del Dipartimento di Principi e Impianti di Ingegneria Chimica
- "Donne e scienza", convegno tenuto alla scuola Galileiana Superiore di Padova
- Corso di formazione sulla banca dati brevettuale ORBIT, tenutosi al Palazzo Storione di Padova
- "Nanoelectrode and Nanofluidic Based Assays of Ion Channels, Mitochondria Membrane Potential, and Apoptosis", seminario svolto presso il complesso interdipartimentale Vallisneri dal Prof. Peter Burke, Dipartimento di Ingegneria Biomedica, Università della California, Irvine
- "Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery", distinguished lecture tenuta presso il DEI dal Prof. David Taubman, Università di New Southern Wales.
- "Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality", distinguished lecture tenuta presso il DEI dal Dott. Federico Turkheimer, Imperial College.
- "Polymer Networks for Bioengineered Surfaces - New Bioanalytical Devices and Blood Compatible Materials", seminario tenuto presso il Dipartimento di Scienze Chimiche dal Prof. Jürgen Rühle, Università di Freiburg – IMTEK.
- "Mental maps from tactile virtual objects", seminario svolto presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dal Dott. Luca Brayda, IIT di Genova.
- "European universities facing the Asian challenge in science and technology. The role of evaluation", distinguished lecture svolta presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dal Dott. Andrea Bonaccorsi, Università di Pisa e ANVUR

- “Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus”, seminario svolto presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dal Prof. Pupolin e l'Ing. Giulia Cisotto, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- PRIME 2011, 7<sup>th</sup> Conference on Ph.D. Research in Microelectronics & Electronics, 3 – 7 July 2010 Madonna di Campiglio, Trento, Italy.
- BIODEVICES 2012, 5th International Conference on Biomedical Electronics and Devices, 1-4 luglio, Vilamoura, Algarve, Portogallo.

#### Partecipazione alle manifestazioni:

- ExpoSanità (Bologna, 16-19 maggio 2012)
- MedTech Italy (Modena, 2-3 ottobre 2012)
- MedTech Italy (Modena, 2-3 ottobre 2013)

#### Attività di affiancamento di studenti durante il periodo di tesi

- Co-relatrice della tesi triennale “Studio sui dispositivi plasmonici”.
- Co-relatrice della tesi magistrale “Integration of plasmonic based bio-sensor on silicon photodetector”

## Parte 2 Ricerca

*Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato (max 2 pagine) mettendo particolarmente in evidenza i risultati originali conseguiti.*

Il tema principale dell'attività di ricerca che ho svolto durante il mio periodo di dottorato è stato lo studio e lo sviluppo di sensori basati sull'effetto di risonanza plasmonica per la rilevazione di molecole di interesse medico e biologico. In particolare, tra le varie configurazioni che permettono l'eccitazione plasmonica, mi sono focalizzata sullo studio dei reticoli nanostrutturati, i quali permettono di raggiungere elevate sensibilità, se paragonati con i dispositivi accoppiati con prisma, e di miniaturizzare il sistema di misura.

Inizialmente la mia attività si è concentrata sullo sviluppo di un banco opto-elettronico che permettesse di rilevare il segnale plasmonico e trasdurlo in un segnale elettrico. L'obiettivo era di costruire un banco versatile, che permettesse di misurare sia la trasmittanza che la riflettanza del grating, oltre che di variare i parametri che entrano in gioco nella configurazione conica, ossia l'angolo di incidenza della luce, l'angolo azimutale, che si crea tra il piano di scattering e il vettore del reticolo, e la polarizzazione della luce incidente. La luce riflessa o trasmessa viene poi trasdotta in corrente grazie ad un array di fotodiodi, e il segnale viene poi acquisito attraverso un analizzatore di parametri.

Grazie a questo banco ho potuto analizzare il comportamento opto-elettronico di tre reticoli diversi:

- Un reticolo d'oro digitale, ideato per la trasmissione straordinaria della luce, e fabbricato attraverso litografia a fascio di elettroni (EBL) dal laboratorio LaNN (Laboratorio di ricerca per la Nanofabbricazione e i Nanodispositivi). Lo sviluppo di questo sensore è l'obiettivo del progetto SPLENDID, progetto di Eccellenza Cariparo, cui ho partecipato.

Si è analizzata la luce trasmessa attraverso il reticolo al variare della polarizzazione del fascio incidente sia in stato “fresh” sia dopo un processo di funzionalizzazione con dodecanethiol, ossia una molecola composta da una catena di dodici atomi di carbonio in grado di creare un layer di spessore e indice di rifrazione noti.

- Un reticolo d'oro sinusoidale, ideato per misure di riflettanza con modulazione in polarizzazione delle luce incidente, e fabbricato dal LaNN attraverso litografia interferenziale. Lo sviluppo di questo sensore è l'obiettivo del progetto PLATFORMS, progetto di Strategico dell'Università di Padova, cui ho partecipato. E' stato messo a punto un protocollo di misura in grado di identificare la configurazione di lavoro più sensibile e di fissare, quindi, i parametri di angolo di incidenza e azimutale, in modo da effettuare misure al variare della sola polarizzazione. Quest'ultima è stata considerata l'unico parametro di sensing. Ho poi stimato la sensibilità del sensore grazie a misure di “bulk” con indici di rifrazione diversi. Il sensore è stato inoltre testato per rilevare due molecole biologiche: l'avidina, sfruttando il legame avidina-biotina, e una catena di DNA, immobilizzando sulla superficie del reticolo la catena di acido peptidonucleico (PNA) complementare. I risultati ottenuti, che presentano una buona corrispondenza con i dati simulati, hanno evidenziato l'elevata sensibilità del sistema e la sua efficacia nel rilevare molecole biologiche.
- Un reticolo trapezoidale in argento, ottimizzato per una misura di trasmittanza e realizzato attraverso un processo industriale che ho contribuito a mettere a punto grazie ad una collaborazione con lo Spin-Off dell'università Next Step Engineering. Questi reticoli sono stati poi caratterizzati dal punto di vista opto-elettronico con il banco sviluppato e ne è stato studiato il comportamento al variare di alcuni parametri geometrici, ottenuti con opportune modifiche del processo produttivo, e al variare dell'angolo di incidenza della luce e quello azimutale. L'efficacia del sistema di rilevazione di variazioni superficiali è stata valutata sia con soluzioni a diversi indici di rifrazione, utilizzando una cella microfluidica, sia attraverso l'immobilizzazione sulla superficie del reticolo di alcantioli di diversa lunghezza. I risultati ottenuti hanno evidenziato l'elevate performance del sensore e la buona ripetibilità data anche dal processo di produzione. Tutti i dati sperimentali sono in accordo con i risultati delle simulazioni.

Nel corso del mio dottorato ho collaborato con due Spin-Off, Next Step Engineering e Wetware Concepts. Grazie a questa collaborazione ho contribuito a mettere a punto un sistema produttivo per la fabbricazione di reticoli nano strutturati, utilizzati poi all'interno della mia attività di ricerca, e di sensori microelettronici per rilevazioni elettrochimiche di molecole. Tale processo produttivo è stato anche modificato per permettere la creazione di sistemi microfluidici con la possibilità di essere integrati con gli elettrodi. Il processo di produzione è oggetto di un brevetto italiano attualmente in fase di deposito, di cui sono una degli inventori.

Durante i primi anni di dottorato, all'attività principale di sviluppo di sensori plasmonici ho affiancato altre attività, tra cui lo studio di protocolli di funzionalizzazione di superfici in oro con poly-L-lysine, attraverso misure di spettroscopia d'impedenza elettrochimica (EIS) e ciclovoltammetrie; e lo sviluppo di un guanto per la riabilitazione, che grazie alla presenza di sensori di forza, è in grado di monitorare i miglioramenti di un soggetto che ha subito delle lesioni all'arto. Sono stati valutati anche dei particolari tessuti che, opportunamente utilizzati,

permettono di rilevare variazioni di pressione.

Ho inoltre partecipato alla business competition "Start Cup 2011", presentando un prodotto innovativo per la rilevazione di patogeni (*Brettanomyces*) nel vino, basato su sonde di DNA. Tale idea è nata dalla fusione delle nostre competenze ingegneristiche, all'interno del laboratorio Biodevices del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, e delle competenze biotecnologiche di un laboratorio dell'Università di Verona, e si è classificata terza alla finale regionale, candidandosi al Premio Nazionale dell'Innovazione 2011.

*Titolo definitivo della tesi*

**Development and characterization of grating-coupled surface plasmon resonance sensors for medical and biological applications**

Supervisore: Prof. Alessandro Paccagnella

**Parte 3 Pubblicazioni**

*Elenco pubblicazioni su rivista internazionale*

- Mufti Mahmud, **Elisabetta Pasqualotto**, Alessandra Bertoldo, Stefano Girardi, Marta Maschietto, Stefano Vassanelli: "[An automated method for detection of layer activation order in information processing pathway of rat barrel cortex under mechanical whisker stimulation](#)". Journal of Neuroscience Methods, Volume 196, Issue 1, 15 March 2011, Pages 141-150.
- A. Ferrario, M. Scaramuzza, **E. Pasqualotto**, A. De Toni, A. Paccagnella. "Development of a Disposable Gold Electrodes-Based Sensor for Electrochemical Measurements of cDNA Hybridization". Procedia Chemistry, [Volume 6](#), 2012, Pages 36-45. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619612002021>)
- M. Scaramuzza, A. Ferrario, **E. Pasqualotto**, A. De Toni. "Development of an Electrode/Electrolyte Interface Model Based on Pseudo-Distributed Elements Combining COMSOL, MATLAB and HSPICE". Procedia Chemistry, [Volume 6](#), 2012, Pages 69-78. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619612002069#>)
- **E. Pasqualotto**, A. Ferrario, M. Scaramuzza, A. De Toni, M. Maschietto. "Monitoring Electroporabilization of Adherent Mammalian Cells Through Electrochemical Impedance Spectroscopy". Procedia Chemistry, Volume 6, 2012, Pages 79-88. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619612002070>)
- Ferrario, M. Scaramuzza, **E. Pasqualotto**, A. De Toni, A. Paccagnella, "Coadsorption optimization of DNA in binary self assembled monolayer on gold electrode for electrochemical detection of oligonucleotide sequences", Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 689, 15 January 2013, Pages 57-62, ISSN 1572-6657, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.11.029>.
- **E. Pasqualotto**, G. Ruffato, A. Sonato, G. Zacco, D. Silvestri, M. Morpurgo, A. De Toni and F. Romanato. "Plasmonic platforms for innovative surface plasmon resonance configuration with sensing applications". Microelectronic Engineering, [Volume 111](#), November 2013, Pages 348-353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2013.02.088>
- G. Ruffato, **E. Pasqualotto**, A. Sonato, G. Zacco, D. Silvestri, M. Morpurgo, A. De Toni, F. Romanato, "Implementation and testing of a compact and high-resolution sensing device based on grating-coupled surface plasmon resonance with polarization modulation", Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 185, August 2013, Pages 179-187, ISSN 0925-4005, <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2013.04.113>.

*Elenco pubblicazioni su convegno internazionale*

- Mufti Mahmud, Alessandra Bertoldo, Stefano Girardi, Marta Maschietto, **Elisabetta Pasqualotto**, Stefano Vassanelli. “An Automated Method to Determine Angular Preferentiality using LFPs Recorded from Rat Barrel Cortex by Brain-Chip Interface under Mechanical Whisker Stimulation”. International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'11)
- Mufti Mahmud, Alessandra Bertoldo, Stefano Girardi, Marta Maschietto, Elisabetta Pasqualotto, Stefano Vassanelli. “SigMate: A Comprehensive Software Package for Extracellular Neuronal Signal Processing and Analysis”. 5th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering 2011.
- A. Ferrario, M. Scaramuzza, **E. Pasqualotto**, A. De Toni, A. Paccagnella, M. Maschietto, S. Vassanelli. “Electrochemical impedance spectroscopy study of the cells adhesion over microelectrodes array”. *Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME), 2011 7th Conference on* , vol., no., pp.57-60, 3-7 July 2011 doi: 10.1109/PRIME.2011.5966216 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5966216&isnumber=5966131>
- Scaramuzza M., Ferrario A., **Pasqualotto E.**, Rosati G., DeToni A., Quarta M., Paccagnella A., Reggiani C.(2012). LOW-COST ENZYME-BASED BIOSENSOR FOR LACTIC ACID AMPEROMETRIC DETECTION-Electrical Modeling and Validation for Clinical and Food Processing Applications. In Proceedings of the International Conference on Biomedical Electronics and Devices, pages 380-383 DOI: 10.5220/0003867603800383
- Marta Maschietto, Stefano Girardi, Florian Felderer, **Elisabetta Pasqualotto**, Stefano Vassanelli. “High Resolution Recordings Of Local Field Potentials With Transistor Needle Chips In Rat Somatosensory and Motor Cortexes”. In Proceedings of MEA-Meeting 2012.
- Gianluca Ruffato, **Elisabetta Pasqualotto**, Agnese Sonato, Gabriele Zacco, Davide Silvestri, Monica Dettin, Margherita Morpurgo, Alessandro De Toni, Filippo Romanato, “Novel compact architecture for high-resolution sensing with plasmonic gratings in conical mounting”. Proc. of SPIE Vol. 8722, 87220U, doi: 10.1117/12.2014272

*Elenco lavori presentati a convegni nazionali/internazionali*

- Perino M., **Pasqualotto E.** , Onganello T, Scaramuzza M., Zilio P. \*, De Toni A. and Romanato F., “Plasmonic Grating based Biosensor: Design, Fabrication and Testing” Presented at NanotechItaly 2011, 23-25 November 2011, Venice, Italy.
- M.Perino, T.Ongarello, P.Zilio, **E. Pasqualotto**, M. Scaramuzza, A. De Toni and F.Romanato. “Design, Fabrication and testing of a biosensor using Plasmonic Gratings”. Presented at 37th International Conference on Micro and Nano Engineering, 19 - 23 September 2011, Berlin, German.
- G. Ruffato, **E. Pasqualotto**, A. Sonato, G. Zacco, D. Silvestri, M. Morpurgo, A. De Toni and F. Romanato. “Ultra-compact grating-coupled plasmonic sensing for high-resolution analysis with polarization modulation”. E-MRS 2012, May 14-18 2012, Strasbourg, France.
- **E. Pasqualotto**, G. Ruffato, A. Sonato, G. Zacco, D. Silvestri, M. Morpurgo, A. De Toni and F. Romanato. “Plasmonic platforms for innovative surface plasmon resonance configuration with sensing applications”. MNE, 38<sup>th</sup> International Conference on Micro and Nano Engineering, 16-20<sup>th</sup> September 2012.
- M. Perino, **E. Pasqualotto**, S. Guggia, G. Rosati, A. Ferrario, M. Scaramuzza, G. Ruffato, A. De Toni, F. Romanato, A. Paccagnella’ “Transmitted Signals from Grating Coupling

Surface Plasmon Resonant Device for Detection of Alkanethiols Functionalization Layers”, 2nd International Conference on Bio-Sensing Technology 2013

- Gianluca Ruffato, **Elisabetta Pasqualotto**, Agnese Sonato, Gabriele Zacco, Davide Silvestri, Monica Dettin, Margherita Morpurgo, Alessandro De Toni, Filippo Romanato, “Innovative sensing architecture based on symmetry breaking of grating-coupled surface plasmon resonance”, 1st EOS Topical Meeting on Optics at the Nanoscale 12-14 September 2013, Capri, Italy

*Brevetti italiani attualmente in fase di deposito:*

- Metodo e apparato per definire e mantenere l'orientazione di dischi polimerici all'interno di processi produttivi industriali di supporti polimerici di immagazzinamento dati digitali.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **PASQUALOTTO Elisabetta** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **ROSSETTO Isabella** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **ROSSETTO Isabella** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

**PROGRAMMA DI RICERCA:** Affidabilità di dispositivi HEMT (High Electron Mobility Transistor) in Arseniuro di gallio (GaAs) e nitruro di gallio (GaN).

### **PARTE 1: DIDATTICA**

#### **Corsi Seguiti:**

- Electrostatic Discharge in Integrated Circuits, Prof. G. Meneghesso (Course catalogue 2010)
- Introduction to Quantum Optics I: quantum information and communication, Prof. A. Sergienko
- Introduction to Quantum Optics II: quantum measurement, imaging, and metrology, Prof. A. Sergienko
- Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
- Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices, Prof. G. Verzellesi
- Statistical Methods, Prof. L. Finesso

#### **Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi:**

- SSIE: Scuola Estiva in Ingegneria dell'Informazione. Bressanone 16-20 Luglio 2012
- SSIE: Scuola Estiva in Ingegneria dell'Informazione. Bressanone 30 Giugno - 6 Luglio 2013

#### **Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:**

- My life in Silicon Valley, Distinguished Lecture series, Dr. Federico Faggin
- "Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED", palazzo del Bo
- "Ricerca e industria per il fotovoltaico in Italia", palazzo del Bo
- Distinguished Lecturer Series 2013, DEI

#### **Altri corsi:**

- STEPS (Seminars Toward Enterprise for PhD students) - Modulo 1: Organizzazione e Lavoro
  - ♦ *"Come funzionano le organizzazioni"* - Paolo Gubitta - Giovedì 10 Maggio 2012

- ♦ *“Strategia e organizzazione dei processi di innovazione”* - Maurizio Scabbia - Giovedì 24 Maggio 2012
- ♦ *“Lavorare in team”* - Andrea di Lenna - Giovedì 7 Giugno 2012
- STEPS (Seminars Toward Enterprise for PhD students) - Modulo 2: Strumenti e metodi
  - ♦ *“Coordinare un'attività complessa: il project management”* - Mimma De Gasperi - Giovedì 21 Giugno 2012
  - ♦ *“Il controllo economico e finanziario di un progetto”* - Emiliano Fabris - Giovedì 5 Luglio 2012
- STEPS (Seminars Toward Enterprise for PhD students) - Modulo 3: Conoscenza e valore
  - ♦ *“La carriera tecnico-scientifica e i sistemi di ricerca europei e internazionali”* - Roberta D'Orazio - Giovedì 13 Settembre 2012
  - ♦ *“La carriera tecnico-scientifica e la proprietà intellettuale”* - Filippo Ghilardo - Giovedì 27 Settembre 2012
- STEPS (Seminars Toward Enterprise for PhD students) - Modulo 4: Sviluppo e carrier
  - ♦ *“Strumenti per affrontare il mondo del lavoro”* - Barbara Targa - Giovedì 18 Ottobre 2012
  - ♦ *“Scelte professionali e forme contrattuali”* - Barbara de Mozzi - Giovedì 8 Novembre 2012
  - ♦ *“Come l'impresa gestisce le persone ad alta scolarizzazione e alto potenziale”* - Martina Gianecchini - Giovedì 22 Novembre 2012
  
- Corso Labview core 1: Padova 9-11 Luglio 2012
- Corso Labview core 2: Padova 26-27 Settembre 2012
- Corso NI Labview: Data acquisition and signal conditioning – 12,13 Marzo 2013
- Corso NI Labview: FPGA – 15, 16, 17 Luglio 2013
- Certificazione NI : CLAD – 24 Maggio 2013

**Partecipazione a conferenze internazionali:**

- **ESREF** (European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis) - 02/10/2011 - 07/10/2011
- **ESREF** (European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis) - 01/10/2012 - 05/10/2012
- **ESREF** (European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis) - 30/09/2013 - 04/10/2013

**PARTE 2: RICERCA**

From GaAs to GaN: study of limits and reliability of High Electron Mobility Transistors  
Supervisor: prof. Enrico Zanoni

L'attività di ricerca svolta mira all'analisi dei principali aspetti che riguardano la caratterizzazione e l'affidabilità di strutture HEMT (High Electron Mobility Transistors). Nel corso del dottorato sono stati trattati dispositivi basati su tecnologia sia in GaAs (Arseniuro di Gallio) sia in GaN (Nitruro di Gallio)

### **GaAs High Electron Mobility Transistors**

Nella prima parte dell'attività di ricerca svolta mi sono occupata di caratterizzazione e affidabilità di componenti discreti, quali *MIM capacitors* e HEMT pseudomorfici in GaAs e valutazione di strutture più complesse quali *power amplifiers* e *up converters*. I dispositivi analizzati sono stati sviluppati interamente presso HUAWEI technologies.

**(i) MIM capacitors:** L'analisi svolta è servita come studio preliminare per la valutazione di strutture più complesse (*power amplifier*). È stato possibile valutare il TDDB (*Time Dependent Dielectric Breakdown*) con misure impulsive (TLP) e studiarne i meccanismi di guasto con l'utilizzo del profilometro e misure al SEM.

#### **(ii) GaAs pHEMT:**

L'analisi svolta è servita in parte per capire i limiti, le prestazioni nonché i meccanismi di guasto della tecnologia a cui appartengono questi dispositivi, in parte come studio preliminare per l'analisi di strutture più complesse da essi costituite.

In primo luogo sono state condotte misure preliminari con l'uso di valutazione DC, impulsata per lo studio dei fenomeni di *trapping* e di caratteristiche CV (capacitance-voltage) dei corrispondenti diodi al variare della frequenza, della tensione applicata e della variazione della larghezza di gate.

L'affidabilità è stata studiata sia da un punto di vista elettrico sia da un punto di vista termico. Una prima analisi per comprendere i limiti di queste strutture, a livello elettrico, è stata condotta attraverso la definizione della SOA (*Safe Operating Area*) e lo studio dei meccanismi di breakdown in OFF e ON state.

È stato inoltre proposto uno studio approfondito dell'affidabilità termica. I dispositivi sono stati sottoposti a stress accelerati di tipo termico (senza alimentazione) a differenti temperature, da 175°C a 350°C con *step* di 25°C. Tali stress sono stati effettuati seguendo diversi *step* di misura fino a 2000h di stress o al raggiungimento di un determinato valore di degrado della corrente (15%-20%). Il conseguente degrado è stato monitorato a definiti *step* durante lo stress attraverso caratterizzazione DC, impulsata, misure load pull, misure CV e calcolo dell'altezza di barriera. Il degrado dei principali parametri misurati in DC ha permesso di definire il MTTF (*Mean Time To Failure*) e la corrispondente energia di attivazione. L'analisi conseguita ha mostrato un andamento coerente per tutte le temperature imposte e ha permesso di definire e in parte confermare con la letteratura i principali meccanismi di degrado termico dei dispositivi analizzati.

Infine è stata studiata la correlazione tra la potenza dissipata dal dispositivo e la corrispondente variazione della temperatura di giunzione attraverso lo sviluppo di differenti metodologie per la misura di resistenza termica, al fine di valutare le criticità e i limiti riscontrati in ciascuna tecnica e proporre eventuali miglioramenti.

**(iii) Up Converter:** Gli *up converter* sono stati utilizzati per studiare i meccanismi di guasto e definire la robustezza delle strutture in seguito a stress di tipo elettrostatico (HBM, MM).

**(iv) Power Amplifiers:** L'analisi effettuata su queste strutture può essere divisa in quattro aree principali.

In primo luogo le prestazioni e il funzionamento dei dispositivi sono state valutate attraverso misure preliminari di tipo DC, impulsato e RF. Tali misure sono state effettuate su campioni *on die*, *package* e inseriti in una *board* filtrata con capacità per attenuare le oscillazioni.

In seguito sono state effettuate misure di SOA e analisi di guasto dei campioni in seguito a fenomeni di breakdown.

Tale analisi è stata completata attraverso un confronto tra gli effetti conseguenti differenti tipologie di misura di affidabilità verso scariche elettrostatiche (TLP, HBM, MM). Gli ingressi RF e di alimentazione DC del dispositivo sono stati valutati, per poter definire i principali meccanismi di guasto nella struttura, con analisi elettrica e ottica, per definirne la robustezza e proporre miglioramenti alla struttura di protezione da scariche elettrostatiche (ESD).

Infine è stato condotto uno studio dettagliato sull'affidabilità termica: (i) cicli di shock termico, (ii) HAST stress (variazione della percentuale di umidità), (iii) stress di tipo termico su dispositivi alimentati (test HTOL). In tutti i casi presentati i dispositivi sono stati in seguito analizzati con misure elettriche e ottiche per valutarne i meccanismi di guasto e degrado. Il test HTOL è stato effettuato mantenendo solo il primo stadio in ON condition. Dato il minimo degrado dei principali parametri misurati (degrado  $I_D < 5\%$ ) il test è stato continuato fino alle 2000h, analizzando quattro distinte condizioni ( $T_J=250^\circ\text{C}, T_{\text{AMB}}=75^\circ\text{C}$ ;  $T_J=225^\circ\text{C}, T_{\text{AMB}}=75^\circ\text{C}$ ;  $T_J=250^\circ\text{C}, T_{\text{AMB}}=105^\circ\text{C}$ ;  $T_J=225^\circ\text{C}, T_{\text{AMB}}=105^\circ\text{C}$ ).

Per poter condurre un'analisi accurata si è reso necessario uno studio dettagliato delle tecniche per definire la resistenza termica, sia da un punto di vista elettrico che ottico. Una discussione sui limiti e prestazioni delle tecniche utilizzate e sui fenomeni di resistenza termica mutua in strutture multistadio è stata proposta.

### **GaN High Electron Mobility Transistors**

L'attività di ricerca sull'affidabilità di dispositivi in nitruro di gallio può essere divisa principalmente in due aree: (i) caratterizzazione dei fenomeni di *trapping* in HEMT AlGaIn/GaN; (ii) analisi di HEMT InAlN/GaN al variare del materiale usato nella loro struttura per aumentarne le prestazioni.

#### **(i) Analisi di fenomeni di *trapping* in dispositivi AlGaIn/GaN.**

I dispositivi utilizzati per questa analisi sono stati sviluppati all'interno del progetto europeo Manga.

Tale analisi ha permesso di valutare il comportamento delle trappole da un punto di vista sia quantitativo sia qualitativo. Nel primo caso l'entità dei fenomeni di *trapping* in termini di collasso di corrente è stabilita attraverso misure impulsive. Tale analisi permette di capire se l'origine di tale calo sia dovuta ad uno spostamento della tensione di soglia o ad un calo della transconduttanza e di dunque formulare ipotesi sulla localizzazione di tali trappole. L'analisi qualitativa è stata condotta tramite misure di transienti di corrente.

I fenomeni di *trapping* sono stati studiati: (i) per differenti punti di polarizzazione applicati, (ii) al variare della temperatura per calcolare energia di attivazione e sezione di

cattura, (iii) al variare dei tempi di intrappolamento.

Le caratteristiche delle trappole sono state in seguito studiate in funzione della presenza di drogaggio con ferro all'interno del *buffer layer*, proponendo un confronto dei parametri più significativi per descrivere i fenomeni di *trapping* in dispositivi con analoga struttura ma differente quantità o assenza di drogante.

L'importanza dei fenomeni di *trapping* ha condotto verso l'analisi del comportamento di tali trappole durante stress di affidabilità. Il primo obiettivo è capire se il degrado elettrico generato durante uno stress influenza anche il *trapping* e se tale variazione sia dovuta alla generazione di nuovi stati trappola o semplicemente all'aumento del segnale corrispondente a trappole preesistenti. Il secondo obiettivo è stato capire e trovare una relazione tra differenti fenomeni di degrado evidenziati in seguito al medesimo stress.

L'aspetto più interessante dell'analisi effettuata è risultata essere la correlazione tra la corrente di perdita al terminale di *gate* (*gate leakage current*), l'elettroluminescenza misurata durante e dopo ogni passo di stress a parità di polarizzazione imposta sia in ON sia in OFF state, il *current collapse* ovvero il calo di corrente dovuto a fenomeni di *trapping*, l'ampiezza del segnale associato alle trappole identificate nonché la corrispondente energia di attivazione e sezione di cattura.

Tale analisi è stata estesa a HEMT caratterizzati da analoga struttura ma con un differente o nullo drogaggio in ferro. L'obiettivo di tale analisi è capire se l'andamento dei fenomeni di *trapping* in seguito ad uno stress elettrico varia in base alla presenza e alla quantità di drogante nel *buffer layer* e se tale variazione ha caratteristiche simili nei casi studiati.

#### **(ii) Analisi di dispositivi InAlN al variare dei contatti ohmici e Schottky utilizzati**

I dispositivi utilizzati sono stati sviluppati all'interno del progetto europeo AlInWon.

L'attività di ricerca è volta all'analisi di dispositivi HEMT InAlN/GaN e alla valutazione delle prestazioni raggiunte da dispositivi con questa struttura. Le principali misure effettuate sono di seguito riportate: (i) Analisi DC: I-V di diodi e transistor, trans caratteristiche e transconduttanze, *end resistances*; (ii) Misure impulsive per studiare i fenomeni di *trapping* e fornire una prima ipotesi sulla localizzazione delle trappole; (iii) Transienti di corrente: Valutazione del comportamento termico (costanti di tempo, energia di attivazione, sezione di cattura) e del comportamento per differenti tempi di intrappolamento imposti; (iv) test di affidabilità elettrica (reverse bias step stress, breakdown pilotato in corrente e off state step stress).

L'analisi di questi dispositivi valuta innanzitutto le prestazioni al variare del *barrier layer*, ovvero l'utilizzo di uno strato InAlN, la differente percentuale di In e spessore del *barrier layer*. Le misure effettuate vedono inoltre uno studio non solo in funzione della struttura ma anche della geometria dei dispositivi valutati.

Le prestazioni dei dispositivi sono in seguito analizzate attraverso l'utilizzo di una diversa struttura (i) per il contatto di *gate* (Mo/Au e Ni/Pt/Au) e (ii) per i contatti ohmici (recessati o meno) in campioni con presenza sia di alto sia di basso drogaggio in carbonio all'interno del *buffer layer*.

L'aspetto di maggior interesse nell'utilizzo di un contatto di *gate* in Mo/Au risiede nel significativo calo del collasso di corrente e variazione di tensione di soglia valutata nell'analisi impulsata, a causa del materiale e del differente processo tecnologico utilizzato.

L'aspetto di maggiore interesse legato all'uso di recesso nei contatti ohmici è sicuramente il differente comportamento delle trappole. Nonostante l'analisi impulsata non dimostri significative differenze, l'andamento termico misurato attraverso transienti di corrente mostra una significativa differenza nelle differenti strutture.

### PARTE 3: PUBBLICAZIONI

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale:

- Rossetto I, Meneghini M., Meneghesso G., Zanoni E., “*Reverse-bias stress of high electron mobility transistors: Correlation between leakage current, current collapse and trap characteristics*”, Microelectronics Reliability special issue conference ESREF 2013, vol. 53 (2013), 1456-1460
- Rossetto I., Rampazzo F., Silvestri R., Zanandrea A., Dua C., Delage S., Oualli M., Meneghini M., Zanoni E., Meneghesso G., “*Comparison of the performances of an InAlN/GaN HEMT with a Mo/Au gate or a Ni/Pt/Au gate*”, Microelectronics Reliability special issue conference ESREF 2013, vol. 53 (2013), 1476-1480
- Meneghesso G., Meneghini M., Stocco A., Bisi D., De Santi C., Rossetto I., Zanandrea A., Rampazzo F., Zanoni E., “*Degradation of AlGaIn/GaN HEMT devices: Role of reverse-bias and hot electron stress*”, Microelectronics Engineering, vol. 109 (2013), pp. 257-261
- Meneghesso, G., Meneghini, M., Bisi, D., Rossetto, I., Cester, A., Mishra, U.K., Zanoni, E., “*Trapping phenomena in AlGaIn/GaN HEMTs: A study based on pulsed and transient measurements*”, Semiconductor Science and Technology, vol. 28 (2013) issue
- Rossetto I., Meneghini M., Tomasi T., Yufeng D., Meneghesso G., Zanoni E., “*Indirect techniques for channel temperature estimation of HEMT microwave transistors: comparison and limits*”, Microelectronics Reliability special issue conference ESREF 2012 52: (9-10) p. 2093-2097
- Tazzoli A., Rossetto I., Zanoni E., Yufeng D., Tomasi T., Meneghesso G., “*ESD sensitivity of a GaAs MMIC microwave power amplifier*”, Microelectronics Reliability special issue conference ESREF 2011 51 (9-11): 1602-1607 sp. iss. si sep-nov 2011

#### Elenco pubblicazioni presentati a convegni internazionali:

- Meneghesso G., Zanandrea A., Stocco A., Rossetto I., De Santi C., Rampazzo F., Meneghini M., Zanoni E., Bahat-Triedel E., Hilt O., Ivo P., Wuerfl J., “*GaN-HEMTs devices with single- and double-heterostructure for power switching applications*”, IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings, 2013, p. 3C.1.1-3C.1.7
- Zanoni E., Meneghesso G., Meneghini M., Stocco A., Rampazzo F., Silvestri R., Rossetto I., Ronchi N., “*Electric-field and thermally-activated failure mechanisms of AlGaIn/GaN high electron mobility transistors*”, ECS Transactions, vol. 41 (2011) issue 8 , pp.237-249

I lavori pubblicati in Microelectronics Reliability special issue conference ESREF 2011, 2012, 2013 sono stati inoltre presentati a convegni internazionali.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **ROSSETTO Isabella** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **SCHIAVON Michele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **SCHIAVON Michele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### **PARTE 1 - DIDATTICA**

- Elenco dei corsi seguiti:
  - Dose, Effect, Threshold, A. Trevisan
  - Dynamical Models in Systems Biology, C. Altafini
  - Statistical Methods, L. Finesso
  - Applied Linear Algebra, T. Damm & H. Wimmer
  - Algebraic Tools for the Identifiability of Dynamical Systems, M. P. Saccomani
  - Statistical Methods, M. Chiogna (Dip. Scienze Statistiche)
- Elenco delle scuole nazionali per dottorandi:
  - XXX Scuola Annuale di Bioingegneria, "Neuroinformatica", Bressanone (BZ), 19-23 Settembre 2011
  - XXXI Scuola Annuale di Bioingegneria, "Dalla ricerca al mercato: trasformare il risultato della ricerca in un prodotto", Bressanone (BZ), 17-21 settembre 2012
- Elenco dei seminari seguiti al DEI o in altre sedi:
  - SEMINARI:
    - ✓ *C'è spazio per tutti. Il grande racconto della geometria*, P. Odifreddi, presso Polo didattico U. Bassi, 21/01/11.
    - ✓ *Towards artificial/computational sapience (wisdom)*, René Mayorga, presso DEI/G, 02/11/11.
    - ✓ *La frequenza alfa individuale dell'EEG: metodiche di stima e potenziali applicazioni*, Anahita Goljahani, Aula Magna A. Lepschy, 29/02/2012.
    - ✓ *Acquisizione di EEG e potenziali evento-relati*, Raffaele Orsato, Aula Magna A. Lepschy, 24/04/2012.
    - ✓ *Sviluppo di un sistema di analisi della variabilità intra-individuale dell'elettroencefalogramma per l'identificazione precoce di deficit cognitivi*, Costanza D'Avanzo e Giorgio Ancara, Aula Magna A. Lepschy, 24/04/2012.

- ✓ *Opportunità e sfide per la ricerca. Il ruolo del CNR.* Prof. Luigi Nicolais, Aula Magna Galileo Galilei, Palazzo Bo, 21/05/2013.
- ✓ *Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus.* Prof. S. Pupolin e Ing. G. Cisotto, Aula Magna A. Lepschy, 10/09/2013.
- ✓ *Pharmacometric modeling with focus on metabolic studies,* Dott.ssa Anna Largajolli, Aula 201, 17/10/2013.
- DISTINGUISHED LECTURES:
  - ✓ *Può l'informazione modificare il cervello?*, L. Maffei da Scuola Normale Superiore di Pisa, presso Aula Magna "A. Lepschy", 05/05/11.
  - ✓ *My life in Silicon Valley*, Dr. Federico Faggin, presso Aula Magna "A. Lepschy", 07/06/11.
  - ✓ *Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality*, Dr. Federico Turkheimer, presso Aula Magna "A. Lepschy", 08/11/11.
  - ✓ *Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators*, Giuseppe De Nicolao, Aula Magna A. Lepschy, 20/03/2012.
  - ✓ *Social Networks – models, methods and analysis.* Prabhakar Ravaghan, Aula Magna A. Lepschy, 10/09/2012.
  - ✓ *The scientific legacy of Hubble space telescope.* Prof. Robert Williams, presso Aula Magna A. Lepschy, 10/10/2012.
  - ✓ *European universities facing the Asian challenge in science and technology. The role of evaluation*, Prof. Andrea Bonaccorsi, Aula Magna A. Lepschy, 30/05/2013.
- COLLOQUIA PATAVINA:
  - ✓ *Reaction-diffusion equation and propagation phenomena*, Prof. Henry Berestycki, Torri di Archimede, 11/12/2012.
- Partecipazione a conferenze nazionali:
  - *3° Congresso Nazionale di Bioingegneria (GNB)*, Roma (Italia), 26-29 Giugno 2012.
- Partecipazione a conferenze internazionali:
  - *11° Diabetes Technology Meeting (DTM)*, Burlingame (CA), 27-29 Settembre 2011.
  - *12° Diabetes Technology Meeting (DTM)*, Bethesda (MD), 8-10 Novembre 2012.

- 6° *Advanced Technology and Treatments for Diabetes (ATTD)*, Paris (France), 27 Febbraio - 2 Marzo 2013.
- 73° *American Diabetes Association Scientific Session (ADA)*, Chicago (IL), 21-25 Giugno 2013.
- 13° *Diabetes Technology Meeting (DTM)*, Burlingame (CA), 31 Ottobre - 2 Novembre 2013.
- Didattica attiva svolta:
  - ASSISTENZA IN LABORATORIO:
    - ✓ *Modelli e controllo di sistemi biologici*, (A.A. 2011-2012) prof. Claudio Cobelli, 40 ore.
    - ✓ *Modelli e controllo di sistemi biologici*, (A.A. 2012-2013) prof. Claudio Cobelli, 40 ore.
  - ATTIVITA' DI TUTOR:
    - ✓ *Sistemi e modelli*, (A.A. 2012-2013) prof. Claudio Cobelli e prof.ssa Gianna Maria Toffolo, 35 ore.
  - CORRELATORE DI TESI DI LAUREA:
    - ✓ *Estimation of insulin sensitivity from continuous glucose monitoring and insulin pump data in type 1 diabetes*, Gabriele Ronca, Laurea Magistrale in Bioingegneria (A.A. 2011-2012).

## PARTE 2 - RICERCA

- Descrizione dell'attività di ricerca:
  - *Estimation of insulin sensitivity from CGM and insulin pump data in type 1 diabetic subjects*: the knowledge of patient-specific insulin sensitivity ( $S_I$ ) and its daily variation can truly help in determining the optimal insulin bolus to be administered to compensate the ingested carbohydrates. During the years of Ph.D. a new index of insulin sensitivity ( $S_I^{SP}$ ) has been proposed, which can be estimated in patients with type 1 diabetes (T1D) wearing a continuous glucose monitoring (CGM) sensor and an insulin pump (CSII) in normal daily life conditions. The method has been validated on 12 T1D subjects studied for three days wearing both subcutaneous insulin pump and CGM, while frequent blood samples were drawn for measurements of plasma glucose and insulin concentrations in order to estimate insulin sensitivity with the oral minimal model ( $S_I^{MM}$ ). The new index  $S_I^{SP}$  was well correlated with  $S_I^{MM}$  and its diurnal pattern was also similar to that of  $S_I^{MM}$ . It is to note that a robust estimation of insulin sensitivity in each meal is guaranteed only if meals are well spaced (5-6 h). To overcome this limitation we developed the concept of Carbohydrates on Board (COB) to allow the method to work properly also in case of non-completely absorbed meals (Schiavon et al., Diabetes Care

2013, in press).

COB, based on a model of oral glucose absorption which describes the transit of glucose through the gastro-intestinal tract (Dalla Man et al., IEEE Trans. Biomed. Eng. 2006), allows to calculate, at each time  $t$ , the amount of ingested glucose which has not yet been absorbed. We demonstrated the need of employing COB: in case of a short time interval between consecutive meals, a robust estimation of  $S_I^{SP}$  can only be obtained if carbohydrates absorption is taken into account.

In the last year of Ph.D. the work has been focused on using this new index to calculate the optimal insulin to carbohydrates ratio (CR) and to assess the pattern of  $S_I$  variations in daily life conditions. To achieve the first goal, we proposed a method for CR optimization based on the new index  $S_I^{SP}$ , area under CGM and CSII curves and the position of the subject in the Control Variability Grid (CVGA) (Magni et al., J. Diab. Sci and Technol. 2008). The method was tested in silico using the UVA/Padova T1DM simulator, by simulating a single-meal scenario (75 g of CHO) with optimal patient-specific CR, CR reduced by 20% and CR increased by 20%. In addition, the effect of systematic overestimation/underestimation of meal size (CHO amount) was considered. In all simulations, the use of the optimal CR improves the overall glycemic control in a significant percentage of the simulated subjects and worsens it in a negligible percentage. This method is currently used in the DP3 project as CR initializer for the personalization of the closed-loop control algorithm, after a previous open-loop phase.

To achieve the second goal, we are currently using  $S_I^{SP}$  to assess the pattern of  $S_I$  variations in daily life conditions. This was feasible thanks to the availability of a dataset of 244 T1D subjects wearing a sensor augmented insulin pump for one year (STAR 3).  $S_I^{SP}$  index was calculated from CGM and CSII data for each recorded meal and thus pattern recognition techniques were employed to classify each subject based on his  $S_I$  daily variation pattern. Preliminary results on a subset of subjects for one month showed the existence of patient-specific trend of  $S_I^{SP}$  in spite of nonnegligible intra-subject variability.

- *Modeling subcutaneous insulin kinetics in T1D subjects:* subcutaneous administration of rapid-acting insulin analogs is part of conventional insulin therapy in type 1 diabetes (T1DM) and is therefore an important component of the FDA accepted T1DM simulator. Several models have been proposed, even if no one has been universally accepted as gold standard, but were not assessed under controlled experimental conditions. During the years of Ph.D., these models of subcutaneous insulin

absorption have been tested and new ones have been developed thanks to the availability of a dataset of 41 T1D subjects who underwent a euglycemic clamp receiving a subcutaneous injection of 12U of lispro while intravenous glucose infusion rate was used to keep glucose stable at 90 mg/dl during the experiment. Models available in the literature were not able to describe the rise in plasma insulin, since they showed an evident delay in plasma insulin appearance, while the new model proposed, which introduces a subject-specific delay in insulin absorption accounting for the diffusion process from the insulin depot to capillary barriers, well fits the data and provided precise parameter estimates. If the model performance will be confirmed in daily life conditions, it will represent a good candidate for the new T1DM simulator.

- *Assessment of postprandial glucose fluxes and insulin sensitivity during exercise:* it is well established that exercise increases rates of glucose uptake (Rd) and modulates insulin sensitivity, likely due to enhancement of glucose uptake by the muscles. During the years of Ph.D. we analyzed data extracted from a triple tracer mixed meal study in healthy individuals where the subjects underwent moderate intensity exercise, two hours after meal ingestion, in order to quantify glucose turnover and evaluate the effect of exercise when it is part of the postprandial period. The aim of multiple tracer experiments is to realize a tracer-to-tracee ratio (TTR) clamp in order to extract glucose fluxes in a model-independent manner. However, keeping TTR constant is almost impossible in practice, thus fluxes are derived with Steele or Radziuk models which need the calculation of TTR rate of change. This is usually assessed by regularized deconvolution technique to reduce ill-conditioning. However, inherent assumptions on stationarity of unknown signal are critical because even a moderate physical activity causes sudden changes in glucose concentration and fluxes. Thus, to account for the nonstationarity introduced by physical activity, we resorted to an improved stochastic deconvolution technique (Pillonetto et al., IEEE Trans. Biomed. Eng. 2001) which models the unknown signal as a random-walk with different rate of variability in presence or absence of exercise. Accounting for nonstationarity allowed a better fit of reconvoluted TTR to data and, thus, a more robust estimate of glucose fluxes (Schiavon et al., Am. J. Physiol 2013).

Then, we quantified the effect of moderate physical activity on post prandial insulin sensitivity by using plasma glucose and insulin concentrations with an integral formula (Caumo et al., J Clin Endocrinol Metab 2000). Insulin sensitivity was calculated for each subject, both in absence (i.e. for  $t=0-120$  min,  $S_I^{rest}$ ) and presence of physical activity ( $t=0-$

360 min,  $S_I^{exercise}$ ). We observed that  $S_I^{rest}$  was significantly lower than  $S_I^{exercise}$  demonstrating that moderate physical activity almost doubled insulin sensitivity in healthy subjects. These results were also validated against the triple tracer technique: thanks to the calculation of endogenous glucose production (EGP) and rate of glucose disappearance ( $R_d$ ) we were able to estimate glucose disposal, liver and total insulin sensitivity from area under EGP and  $R_d$ , both in absence ( $TTS_I^{restD}$ ,  $TTS_I^{restL}$ ,  $TTS_I^{rest}$ ) and presence of physical activity ( $TTS_I^{exD}$ ,  $TTS_I^{exL}$ ,  $TTS_I^{ex}$ ). Similarly to previous results,  $TTS_I^{rest}$  was lower than  $TTS_I^{ex}$  and correlation between indices derived with the two methods was very good both at rest and during exercise.  $TTS_I^{restL}$  was not different from  $TTS_I^{exL}$ , while  $TTS_I^{restD}$  was lower than  $TTS_I^{exD}$ .

These results have been incorporated into the UVA/Padova T1D simulator and simulation has been used to suggest the best strategy to be adopted for the optimization of basal insulin infusion rate during exercise (Schiavon et al J. Diab. Sci. and Technol 2013, in press).

Finally, in the last year of the Ph.D. we worked on developing a mechanistic model of the effect of physical activity on postprandial glucose turnover.

- *Pramlintide effect on insulin secretion and action in healthy subjects*: in the last year of the Ph.D., we evaluated the effect of pramlintide, a synthetic analog of human amylin with primary effect of slowing gastric emptying, on postprandial insulin sensitivity and glucose kinetics in healthy subjects. By using the oral glucose and C-peptide minimal model we measured insulin action and secretion, respectively. We observed that pramlintide improves insulin sensitivity and worsens beta cell responsivity, while disposition index resulted higher with pramlintide.

- Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore:

Titolo: “*Modeling the effect of physical activity on postprandial glucose turnover*”

Supervisore: *Chiara Dalla Man*

### PARTE 3 - PUBBLICAZIONI

- Elenco pubblicazioni su rivista internazionale:

- Schiavon M., Dalla Man C., Kudva Y.C., Basu A., Cobelli C., *Quantitative estimation of insulin sensitivity in type 1 diabetic subjects wearing a sensor augmented insulin pump*, Diabetes Care, 2013 (in press).
- Schiavon M., Dalla Man C., Kudva Y.C., Basu A., Cobelli C., *In silico optimization of basal insulin infusion rate during exercise: implications for artificial pancreas*, Journal of Diabetes Science and Technology, 2013 (in press).

- Schiavon M., Hinshaw L., Mallad A., Dalla Man C., Sparacino G., Johnson M., Carter R., Basu R., Kudva Y.C., Cobelli C., Basu A., *Postprandial glucose fluxes and insulin sensitivity during exercise: A study in healthy individuals*, American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism, 305: E557-E566, 2013.
- Guerra S., Sparacino G., Facchinetti A., Schiavon M., Dalla Man C., Cobelli C., *A Dynamic Risk Measure from Continuous Glucose Monitoring Data*, Diabetes Technology & Therapeutics, Volume 13, Number 8, 2011.
- Elenco pubblicazioni su convegno internazionale:
  - Schiavon M., Dalla Man C., Cobelli C., *Optimization of Insulin to Carbohydrate Ratio in Type 1 Diabetes Therapy using CGM and Insulin Pump Data*, 7<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna, Austria, February 5-8 2014 (submitted).
  - Schiavon M., Dalla Man C., Kudva Y.C., Basu A., Kaufman F., Mastrototaro J., Cobelli C., *Daily Pattern of Insulin Sensitivity Enables Optimization of Insulin to Carbohydrate Ratio: First Results from the STAR 3 Study*, 7<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna, Austria, February 5-8 2014 (submitted).
  - Schiavon M., Dalla Man C., Kudva Y.C., Basu A., Kaufman F., Mastrototaro J., Cobelli C., *Daily Pattern of Insulin Sensitivity: First Results from the STAR 3 Study*, 13<sup>th</sup> Annual Diabetes Technology Meeting, Burlingame, (CA, USA), October 31 – November 2 2013.
  - Mallad A., Schiavon M., Hinshaw L., Dalla Man C., Basu R., Basu A., Cobelli C., Kudva Y.C., *Pramlintide Improves Insulin Action and Worsens Beta Cell Responsivity in Healthy Adults: A Minimal Model Study*, 49<sup>th</sup> European Association for the Study of Diabetes Annual Meeting, Barcelona (Spain), September 24-27 2013.
  - Hinshaw L., Schiavon M., Dalla Man C., Mallad A., Basu R., Kudva Y., Cobelli C., Basu A., *Peripheral but Not Hepatic Insulin Sensitivity Increases during Moderate Exercise in the Postprandial State: A Triple Tracer Study*, 73<sup>rd</sup> American Diabetes Association Scientific Session, Chicago (IL, USA), June 21-25 2013.
  - Schiavon M., Dalla Man C., Hinshaw L., Mallad A., Basu R., Basu A., Kudva Y., Cobelli C., *Estimation of Postprandial Insulin Sensitivity during Moderate Exercise in Healthy Subjects: Validation Against Meal Triple Tracer Technique*, 73<sup>rd</sup> American Diabetes Association Scientific Session, Chicago (IL, USA), June 21-25 2013.
  - Schiavon M., Dalla Man C., Hinshaw L., McCrady-Spitzer S., Basu R., Basu A., Cobelli C., Kudva Y., *Moderate Physical Activity Almost Doubles*

- Post Prandial Insulin Sensitivity in Healthy Subjects*, 6<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Paris (France), February 27 - March 2 2013.
- Schiavon M., Dalla Man C., Krasner A., Pichotta P., Cobelli C., *Modeling Subcutaneous Insulin Kinetics in Type 1 Diabetes*, 6<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Paris (France), February 27 - March 2 2013.
  - Schiavon M., Dalla Man C., Facchinetti A., Sparacino G., Kudva Y., Basu A., Cobelli C., *Assessment of Postprandial Glucose Turnover in Presence of Moderate Physical Activity using a Stochastic Deconvolution Method*, 12<sup>th</sup> Diabetes Technology Meeting, Bethesda (MD, USA), November 8-10, 2012.
  - Schiavon M., Dalla Man C., Cobelli C., *Carbohydrates (CHO) on Board to Assess the Amount the Fraction of Meal CHO Entering in the Circulation*, Diabetes Technology Meeting, Bethesda (MD, USA), November 8-10, 2012.
  - Schiavon M., Dalla Man C., Basu R., Basu A., Kudva Y.C., Cobelli C., *Estimation of Insulin Sensitivity from CGM and Subcutaneous Insulin Delivery in Type 1 Diabetes*, 11<sup>th</sup> Diabetes Technology Meeting, Burlingame (CA, USA), September 27-29, 2011.
- Elenco pubblicazioni su convegno nazionale:
    - Schiavon M., Dalla Man C., Basu R., Basu A., Kudva Y., Cobelli C., *A New Index of Insulin Sensitivity from Minimally-Invasive Technologies in Type-1 Diabetes*, Terzo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Roma (Italia), 26-29 Giugno 2012.
  - Brevetti:
    - US patent application No. 13/661,755 filed on October 26<sup>th</sup>, 2012, title "*Estimation of Insulin Sensitivity from CGM and Subcutaneous Insulin Delivery in Type 1 Diabetes*", Dalla Man C., Schiavon M., Kudva Y.C., Basu A., Cobelli C.
    - US patent application No. 13/661,393 filed on October 26<sup>th</sup>, 2012, title "*Alert System for Hypo and Hyperglycemia Prevention based on Clinical Risk*" Guerra S., Facchinetti A., Schiavon M., Sparacino G., Cobelli C.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **SCHIAVON Michele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **TRIFOGLIO Emanuele** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **TRIFOGLIO Emanuele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

Titolo della borsa a tema vincolato:  
*Metodi e Algoritmi per l'analisi dei dati in genomica e proteomica*

### **Parte 1 Didattica**

#### *Corsi seguiti*

1. Dose, Effect, Threshold
2. Dynamical Models in Systems Biology
3. Statistical Methods
4. Applied Linear Algebra
5. Algebraic Tools for the Identifiability of Dynamical Systems
6. Algorithms for Bioinformatics and Computational Biology
7. Statistical Methods (Dipartimento di Scienze Statistiche, Università di Padova)

#### *Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi*

- AACSE (Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering) PhD Summer School, Padova, 19-23/09/11.
- XXX Scuola Annuale di Bioingegneria, Bressanone, 19-23/09/2011.
- Congresso Nazionale di Bioingegneria (GNB), Roma 26-29/06/2012.
- XXXI Scuola Annuale di Bioingegneria, Bressanone, 17-21/09/2012.
- AACSE (Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering) PhD Summer School, Padova, 16-19/09/2013.

#### *Seminari seguiti al DEI o in altre sedi*

- *C'è spazio per tutti. Il grande racconto della geometria*, P. Odifreddi, Polo didattico U. Bassi, 21/01/2011.
- *Può l'informazione modificare il cervello?*, L. Maffei da Scuola Normale Superiore di Pisa, Aula Magna A. Lepschy, 05/05/2011.
- *My life in Silicon Valley*, Dr. Federico Faggin, Aula Magna A. Lepschy, 07/06/2011.
- *Advanced Methods for Data Analysis and Predictive Models for Genome Wide Association Studies*, Paola Sebastiani, Università di Pavia, 12-13/09/2011.
- *Inferring Cancer Metastasis Pathways from meta-analysis of Genomics Data*, Silvio Bicciato, Dipartimento di Scienze Statistiche, Padova, 14/10/2011.
- *Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality*, Dr. Federico Turkheimer, Aula Magna A. Lepschy, 08/11/2011.

- *La frequenza alfa individuale dell'EEG: metodiche di stima e potenziali applicazioni*, Anahita Goljahani, Aula Magna A. Lepschy, 29/02/2012.
- *Acquisizione di EEG e potenziali evento-correlati*, Raffaele Orsato, Aula Magna A. Lepschy, 24/04/2012.
- *Sviluppo di un sistema di analisi della variabilità intra-individuale dell'elettroencefalogramma per l'identificazione precoce di deficit cognitivi*, Costanza D'Avanzo e Giorgio Ancara, Aula Magna A. Lepschy, 24/04/2012.
- *Metodiche di stima per l'analisi della connettività cerebrale mediante EEG*, Elisa Sartori, Aula Magna A. Lepschy, 16/05/2012.
- *Social Networks – models, methods and analysis*. Prabhakar Ravaghan, Aula Magna A. Lepschy, 10/09/2012.
- *The scientific legacy of Hubble space telescope*. Prof. Robert Williams, presso Aula Magna A. Lepschy, 10/10/2012.
- *Label-free Quantitation in Proteomics: a Bioinformatics Perspective*, Marco Falda, Complesso Vallisneri (Padova), 30/10/2012.
- *Mental maps from tactile virtual objects*. Dott. Luca Brayda, Aula Magna A. Lepschy, 15/05/2013.
- *Statistical Learning Theory Meets Big Data: Randomized Algorithms for Extracting Frequent Itemsets and Association Rules*. Prof. Eli Upfal, Aula Magna A. Lepschy, 17/05/2013.
- *Opportunità e sfide per la ricerca. Il ruolo del CNR*. Prof. Luigi Nicolais, Aula Magna Galileo Galilei, Palazzo Bo, 21/05/2013.
- *Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus*. Prof. S. Pupolin e Ing. G. Cisotto, Aula Magna A. Lepschy, 10/09/2013.
- *Pharmacometric modeling with focus on metabolic studies*. Dott.ssa Anna Largajolli, sala riunioni 201 DEI/A, 17/10/2013.

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- *Calcolo Scientifico e Bioinformatica oggi*. 13/01/2012, Padova.
- *Intelligent Data Analysis In bioMedicine And Pharmacology (IDAMAP)*. 22/11/2012, Pavia.
- *Dottori di ricerca e inserimento nel mondo del lavoro. L'esperienza dell'Università di Padova nell'ambito del programma FlixO*. Palazzo Bo, Padova, 13/03/2013.
- *Nuove tecnologie per la diagnosi e l'intervento nei disturbi del linguaggio*. Villa Contarini, Piazzola sul Brenta, 13/04/2013.

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- SUMMIT Plenary Meeting, 22-23/03/2012, Padova.
- SUMMIT Plenary Meeting, 26-28/02/2013, Boehringer Ingelheim R&D Campus (Biberach) - Maritim Hotel (Ulm), Germania.

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- Assistenza di laboratorio per il corso *Elaborazione di segnali biologici* della Prof.ssa Gianna Maria Toffolo nell'anno didattico 2011/2012, per un totale di 30 ore.
- Assistenza di laboratorio per il corso *Elaborazione di segnali biologici* della Prof.ssa Gianna Maria Toffolo nell'anno didattico 2012/2013, per un totale di 75 ore.

## Parte 2 Ricerca

L'attività di ricerca svolta durante il corso dei 3 anni di dottorato si è incentrata principalmente sullo studio delle complicanze del diabete e sullo sviluppo di nuove metodologie di analisi e di modellistica di tali complicanze.

Il diabete mellito è una malattia fortemente multifattoriale, nella quale molteplici fattori di rischio di diversa natura concorrono a provocarne l'insorgenza e lo sviluppo. I meccanismi fisiologici che sottendono allo scatenarsi e al progredire della patologia sono ancora per la maggior parte sconosciuti. Data la natura multifattoriale del diabete, lo studio delle complicanze si presta ad essere affrontato con un approccio multi-livello. Lo schema generale di una malattia multifattoriale prevede l'azione combinata di 3 elementi chiave sullo stato patologico (l'outcome) del paziente: i) il fenotipo, ovvero l'insieme di tutte le variabili metaboliche, antropometriche e ambientali caratteristiche del paziente, ii) il genotipo, ovvero la sequenza DNA del paziente, iii) il trattamento, ovvero l'insieme di interventi esterni effettuati sul paziente, come terapie ed utilizzo di farmaci. Queste 3 variabili sono interconnesse tramite interazioni e concorrono tutte insieme a determinare l'outcome del paziente. L'approccio multi-livello consente di scomporre il problema completo in sottoproblemi, focalizzando l'attenzione di volta in volta solo su un sottoinsieme di variabili e di interazioni, a seconda del livello di informazione desiderata. Nel corso dei 3 anni, sono stati considerati 3 principali livelli di studio delle complicanze diabetiche, e, per ognuno dei 3 ambiti, vengono proposti nuovi metodi sviluppati durante il periodo di dottorato.

L'attività di ricerca si è inserita nell'ambito dell'European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) for the Innovative Medicine Initiative under grant agreement n° IMI/115006 (the SUMMIT consortium). In particolare, il consorzio SUMMIT (**S**URrogate markers for **M**icro- and **M**acro-vascular hard endpoints for **I**nnovative diabetes **T**ools), ha come obiettivo l'identificazione e la caratterizzazione di biomarcatori che possano essere utilizzati sia per identificare i pazienti ad alto rischio di complicanze, sia come endpoint (ovvero indicatori clinici rappresentativi della patologia studiata) nei trial clinici.

Il primo livello di studio si propone di studiare le complicanze diabetiche da un punto di vista statico, ovvero senza considerare l'evolversi e il progredire di tali complicanze nel tempo, ed ha come obiettivo quello di identificare i principali biomarcatori genetici che consentano di predire lo stato di malattia dei pazienti, e di stratificare i pazienti in base al rischio di sviluppare o meno la malattia. In generale, i biomarcatori possono essere variabili di tipo clinico (come misure metaboliche e antropometriche), di tipo ambientale (legati allo stile di vita e alle abitudini dei pazienti) e di tipo genetico (gli SNPs – Single Nucleotide Polymorphisms – ovvero le mutazioni nel DNA a livello di singola base). Per

quanto riguarda in particolare l'ambito dei biomarcatori genetici, i Genome Wide Association Studies (GWAs), sono studi di associazione volti a identificare gli SNPs che, da soli o in combinazioni con altri SNPs, consentono di spiegare le differenze che si osservano in un determinato outcome (come la presenza o meno di una patologia) tra casi (soggetti malati) e controlli (soggetti sani) in una popolazione di studio. Diversi metodi di selezione univariata e multivariata sono presenti in letteratura per l'identificazione di marcatori genetici da studi GWAs. In questo ambito, è stato sviluppato un nuovo metodo per la selezione multivariata di biomarcatori genetici e per la classificazione di soggetti a partire da dati di SNPs da studi GWAs, basato sui classificatori di Bayes e arricchito da 3 principali componenti: i) una predizione ottenuta da un insieme di classificatori di Bayes, utilizzando una strategia basata sul bootstrap, ii) un nuovo metodo per ordinare e selezionare gli attributi selezionati da ogni classificatore, iii) una procedura, basata sulle permutazioni, per selezionare i biomarcatori significativi, sulla base della loro utilità marginale nel processo di classificazione. Il metodo è stato validato sui dati GWAs del Wellcome Trust Case-Control study (WTCCC) relativi a diabetici di tipo 1 e le sue performance confrontate con gli algoritmi rappresentanti lo stato dell'arte in letteratura per studi di associazione genetica. Nell'ambito del progetto SUMMIT, lo stesso metodo è stato utilizzato in un lavoro di confronto tra i metodi sviluppati dai diversi partner relativamente al problema della selezione di biomarcatori e della classificazione di pazienti diabetici. In mancanza dei dati che il consorzio avrebbe dovuto fornire, sono stati utilizzati i dati provenienti dal Diabetes Control and Complication Trial (DCCT) per la validazione e il confronto tra metodi.

Il secondo livello di studio riguarda l'analisi dinamica delle complicanze, nella quale si vuole modellizzare l'insorgere e la progressione delle principali complicanze legate al diabete nel corso del tempo, utilizzando l'informazione genotipica, fenotipica e terapeutica, con l'obiettivo di stimare la probabilità che il paziente diabetico possa o meno sviluppare una certa complicanza, ottimizzando quindi i trial clinici ed evitando esami costosi e invasivi. In letteratura, sono presenti diversi modelli delle complicanze di diabete, ma nessuno è in grado di integrare le diverse conoscenze -omiche (genomica, proteomica, metabolomica) ad un livello clinico macroscopico. Inoltre, i principali modelli presenti in letteratura sono basati sui modelli di Markov e non consentono di integrare facilmente informazioni aggiuntive. In questo ambito di studio, viene proposto un nuovo modello *in-silico* di 5 principali complicanze del diabete (infarto del miocardio, angina pectoris, insufficienza cardiaca, ictus e nefropatia), che propone come aspetti innovativi l'utilizzo delle reti dinamiche bayesiane (Dynamic Bayesian Networks, DBNs) come struttura del modello, e l'introduzione dell'informazione genetica in aggiunta a quella fenotipica. Rispetto ai modelli di Markov, che richiedono tanti nodi quante sono le possibili combinazioni degli stati delle variabili, le DBN hanno il vantaggio di rappresentare ogni variabile tramite un singolo nodo e permettono quindi una maggiore facilità nella gestione della struttura e nell'integrazione di eventuale informazione aggiuntiva. In mancanza dei dati del progetto SUMMIT, il modello è stato costruito sulla base del DCCT, dapprima utilizzando dati simulati e, in una seconda fase, utilizzando i veri dati individuali dei pazienti. Il modello sviluppato, è in grado di predire la progressione delle principali complicanze diabetiche a livello di popolazione e consente, inoltre, di fornire una probabilità di sviluppo di una determinata complicanza a partire dai dati individuali del singolo paziente. Il modello si presta quindi ad essere utilizzato come

tool di supporto nel processo di decisione terapeutica da parte dei clinici e, in quest'ottica, sta portando alla realizzazione di un'interfaccia web che ne permetta l'utilizzo on-line da remoto.

Il terzo ed ultimo livello di studio considerato è lo studio dell'azione di uno specifico farmaco su un particolare fenotipo, e del genotipo che ne media l'effetto. L'ambito più generale in cui si inserisce questo livello di studio è quello della farmacogenomica, che si può definire come la scienza che si interessa di utilizzare l'informazione genetica nella scoperta, nello sviluppo e nella personalizzazione di nuovi farmaci. Nell'ambito specifico delle complicanze cardiovascolari, una delle terapie più diffuse è quella del trattamento con aspirina per la prevenzione di eventi avversi nei pazienti ad alto rischio. L'aspirina è un farmaco antiinfiammatorio e deve la sua azione preventiva alla capacità di inibire un enzima chiave (la prostaglandina-endoperossido sintasi PTGS-1, conosciuta anche come cicloossigenasi COX-1) nella cascata che porta alla formazione di trombano B<sub>2</sub> (TxB<sub>2</sub>), il principale responsabile dell'aggregazione piastrinica nel sangue e della conseguente formazioni di trombi. È noto, da letteratura, come i pazienti diabetici rispondano in maniera differente alla terapia con aspirina, sia rispetto ai soggetti sani, evidenziando un'efficacia ridotta al farmaco, sia tra stessi pazienti diabetici. Se da una parte, per lo studio dell'effetto dell'aspirina sulla progressione delle complicanze cardiovascolari e della sua diversa efficacia in pazienti diversi, sia possibile applicare lo stesso metodo di analisi statistica dinamica utilizzato nella costruzione del modello *in-silico* delle complicanze diabetiche, dall'altra risulta ugualmente interessante andare a ricercare i motivi fisiologici che stanno alla base delle differenze osservate in ambito sperimentale. Data la scarsità di informazione statisticamente significativa nel DCCT in riferimento ad episodi di complicanze cardiovascolari e alla mancanza di modelli di azione dell'aspirina in letteratura, si è deciso di studiare il problema utilizzando un approccio modellistico di farmacodinamica. Utilizzando informazioni biologiche ricavate da letteratura, si è sviluppato un modello, in parte compartimentale e in parte distribuito, che descrive tramite equazioni differenziali: i) la cinetica dell'enzima COX-1 a partire dalla sua produzione all'interno dei megacariociti del midollo osseo fino a giungere nelle piastrine del sangue, ii) la farmacocinetica e la farmacodinamica dell'aspirina, ovvero la distribuzione del farmaco nel corpo e la sua interazione con l'enzima COX-1. Il modello è stato utilizzato per spiegare i dati sperimentali provenienti dal Dipartimento di Farmacologia dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma e relativi alla concentrazione plasmatica di trombano B<sub>2</sub> in diversi pazienti sottoposti a diversi protocolli di trattamento con aspirina. Il modello ha permesso di individuare nella velocità del turnover piastrinico il parametro chiave in grado di spiegare le differenze tra pazienti sani e diabetici e all'interno dei pazienti diabetici.

### **Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore**

*Multi-level modeling and computational approaches to investigate long-term diabetes complications*

Supervisore: Barbara Di Camillo

### **Parte 3 Pubblicazioni**

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

1. Sambo F, Trifoglio E, Di Camillo B, Toffolo G, Cobelli C. (2012). *Bag of Naïve Bayes: biomarker selection and classification from Genome-Wide SNP data*. BMC BIOINFORMATICS, vol. 13 Suppl 14:S2, ISSN: 1471-2105.
2. Aghaeepour N, Finak G, FlowCAP Consortium, Dougall D, Khodabakhshi AH, Mah P, Obermoser G, Spidlen J, Taylor I, Wuensch SA, Bramson J, Eaves C, Weng AP, Iii ES, Ho K, Kollmann T, Rogers W, De Rosa S, Dalal B, Azad A, Pothen A, Brandes A, Bretschneider H, Bruggner R, Finck R, Jia R, Zimmerman N, Linderman M, Dill D, Nolan G, Chan C, Khettabi FE, O'Neill K, Chikina M, Ge Y, Sealfon S, Sugár I, Gupta A, Shooshtari P, Zare H, De Jager PL, Jiang M, Keilwagen J, Maisog JM, Luta G, Barbo AA, Májek P, Vilček J, Manninen T, Huttunen H, Ruusuvoori P, Nykter M, McLachlan GJ, Wang K, Naim I, Sharma G, Nikolic R, Pyne S, Qian Y, Qiu P, Quinn J, Roth A, DREAM Consortium, Meyer P, Stolovitzky G, Saez-Rodriguez J, Norel R, Bhattacharjee M, Biehl M, Bucher P, Bunte K, Di Camillo B, Sambo F, Sanavia T, Trifoglio E, Toffolo G, Dimitrieva S, Dreos R, Ambrosini G, Grau J, Grosse I, Posch S, Guex N, Keilwagen J, Kursa M, Rudnicki W, Liu B, Maienschein-Cline M, Manninen T, Huttunen H, Ruusuvoori P, Nykter M, Schneider P, Seifert M, Strickert M, Vilar JM, Hoos H, Mosmann TR, Brinkman R, Gottardo R, Scheuermann RH. (2013). *Critical assessment of automated flow cytometry data analysis techniques*. NATURE METHODS, vol. 10, ISSN: 1548-7091, doi: 10.1038/nmeth.2365.

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

3. Sambo F, Trifoglio E, DiCamillo B, Toffolo GM, Cobelli C *Bag of Naïve Bayes: biomarker selection and classification from Genome-Wide SNP data*. NETTAB (Network Tools and Application in Biology) Clinical bioinformatics Workshop 2011, Pavia, 12-14/10/11.
4. Trifoglio E, Barbarini N, DiCamillo B, Rognoni C, Sambo F, Malovini A, Toffolo G, Bellazzi R, Cobelli C. *Dynamic Bayesian Networks for the prediction of Diabetes complications*. Terzo Congresso del Gruppo Nazionale di Bioingegneria GNB2012, Roma, 26-29 giugno 2012.
5. Trifoglio E, Barbarini N, DiCamillo B, Rognoni C, Sambo F, Malovini A, Toffolo G, Bellazzi R, Cobelli C. *Predicting diabetes complications through Dynamic Bayesian Networks*. 17th Workshop of Intelligent Data Analysis in bioMedicine And Pharmacology IDAMAP2012. Pavia, Italy, November 22th, 2012.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **TRIFOGLIO Emanuele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **VACCARI Simone** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **VACCARI Simone** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

## **Parte 1: Didattica**

### -Elenco dei corsi seguiti

- Introduction to Quantum Optics I: quantum information and communication
- Introduction to Quantum Optics II: quantum measurement, imaging and metrology
- Applied Linear Algebra
- Statistical Methods
- Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices
- Electrostatic Discharge in Integrated Circuits
- Labview Core 1
- Labview Core 2
- Data Acquisition and Signal Conditioning
- Labview FPGA

### -Elenco delle partecipazioni a scuole nazionali per dottorandi

- Partecipazione alla *Summer School of Information Engineering*, tenutasi a Bressanone (BZ) dal 16 al 20 luglio 2012.

### -Elenco dei seminari seguiti

- My life in Silicon Valley, Distinguished Lecture series, Dr. Federico Faggin
- "Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED", palazzo del Bo

### -Elenco delle partecipazioni a Conferenze Internazionali

- Partecipazione al 20<sup>th</sup> European Workshop on Heterostructure Technology, HETECH 2011, tenutasi dal 7 al 9 Novembre 2011, presso Lille, Francia.

- Partecipazione al 36<sup>th</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits, WOCSDICE 2012, tenutosi dal 28 al 30 Maggio 2012, presso Isola di Porquerolles, Francia.
- Partecipazione al 9<sup>th</sup> International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices 2012, ISSLED 2012, tenutosi dal 22 al 27 Luglio 2012, presso Berlino, Germania.
- Partecipazione al 24<sup>th</sup> European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis, ESREF 2013, tenutosi dal 30 Settembre al 4 Ottobre 2013, presso Arcachon, Francia.

## Parte 2: Ricerca

L'attività di ricerca svolta nel corso dei tre anni del Dottorato è stata focalizzata sullo studio dei difetti e dei meccanismi fisici che limitano la robustezza alle scariche elettrostatiche dei LED (Light Emitting Diodes). Lo studio preliminare dei difetti e della loro influenza sulle caratteristiche elettro-ottiche dei LED è fondamentale per la comprensione dei meccanismi che limitano la loro affidabilità e conseguentemente il loro eventuale ruolo anche nei meccanismi di *failure* quando il LED è sottoposto ad un evento ESD.

In particolare l'intera attività di tesi può essere suddivisa in quattro argomenti principali: il primo riguarda l'analisi dei processi di emissione legati ai difetti presenti nei LED basati sul sistema *InGaN/GaN*, il secondo riguarda lo studio delle caratteristiche ottiche (misure di elettroluminescenza) di LED basati su *GaN* con struttura *color-coded*, il terzo riguarda lo studio dei meccanismi fisici che limitano la robustezza ESD di LED basati su *GaN*, ed infine il quarto ed ultimo argomento riguarda lo studio della robustezza ESD di numerosi LED RGB commerciali, con particolare attenzione al confronto tra le robustezze di due diverse tecnologie, ossia LED blu e verdi basati su *GaN* e LED rossi basati su *AlInGaP*. Nel seguito verrà fornita una breve descrizione di ciascuna di queste quattro principali attività di ricerca trattate, mettendo in particolare evidenza i risultati originali conseguiti.

Nella prima parte dell'attività di ricerca sono stati analizzati i processi di emissione legati ai difetti presenti nei LED basati su *InGaN/GaN*: allo scopo sono state svolte misure di elettroluminescenza risolte spettralmente e spazialmente su LED sperimentali blu e verdi. In particolare sono state svolte separatamente le analisi in condizioni di polarizzazione diretta e inversa, allo scopo di discriminare i difetti responsabili dei processi di emissione nelle due condizioni operative. I principali risultati sperimentali hanno evidenziato che: (i) in condizioni di polarizzazione inversa i LED emettono un debole segnale luminoso, localizzato in spot di dimensione sub-micrometrica. Inoltre l'intensità luminosa risulta essere direttamente proporzionale alla corrente inversa e fortemente correlata alla presenza di *threading dislocations* (TDs), dimostrando quindi che le *threading dislocations* presenti nel Nitruro di Gallio rappresentano dei percorsi preferenziali per la conduzione della corrente in condizioni di polarizzazione inversa. (ii) In condizioni di polarizzazione diretta l'intensità luminosa emessa dal dispositivo non risulta essere uniforme nell'intera area dei dispositivi. In particolare le misure di elettroluminescenza hanno evidenziato la presenza di alcuni spot localizzati con emissione centrata nella banda spettrale gialla, la cui origine è stata attribuita a ricombinazione assistita da difetti che avviene in seguito all'iniezione di alcuni portatori dalle *quantum wells* alle regioni di barriera per effetto tunnel.

Nella seconda parte dell'attività di ricerca è stato svolto un esteso studio delle caratteristiche di elettroluminescenza di diodi LED basati su *GaN* con struttura *color-coded*, cioè con una struttura a tre *quantum wells*, in cui ciascuna delle buche quantiche ha un diverso contenuto di indio e quindi una diversa lunghezza d'onda di emissione: lo scopo di tale lavoro è analizzare i processi di iniezione dei portatori nelle buche quantiche e quelli che limitano l'efficienza ottica dei LED basati su *quantum wells*. L'analisi eseguita è stata suddivisa tra misure di elettroluminescenza e simulazioni; in particolare i principali risultati sperimentali possono essere riassunti nei seguenti punti: (i) l'efficienza di ciascuna buca quantica dipende fortemente dalle condizioni operative del dispositivo, quali livello di corrente e temperatura; (ii) a bassi livelli di corrente e temperatura solo la buca quantica adiacente alla zona con drogaggio di tipo *p* mostra un'emissione significativa; (iii) d'altro canto il contributo di emissione dalle altre buche quantiche diventa significativo solo ad elevati valori di corrente iniettata nella giunzione.

Conclusa questa lunga analisi dei processi di emissione dei LED, siamo passati allo studio dei meccanismi fisici che limitano la robustezza alle scariche elettrostatiche (ESD) di diodi LED blu basati su Nitruro di Gallio: allo scopo ci sono state fornite dieci serie di LED sperimentali caratterizzate ciascuna da una diversa robustezza alle scariche ESD. In particolare due parametri fondamentali caratterizzano le diverse famiglie di campioni analizzati: lo "*RAET Fail*", che quantifica il tasso di *failure* dei dispositivi dopo essere stati sottoposti all'applicazione di un singolo evento di scarica elettrostatica, e lo "*Slippage*", che quantifica invece il tasso di *failure* in seguito all'applicazione di un secondo impulso ESD. I LED sono stati sottoposti ad una iniziale caratterizzazione elettro-ottica ed in seguito ci si è focalizzati sullo studio dei livelli profondi associati ai difetti, mediante misure di *DLTS* (*Deep Level Transient Spectroscopy*), *DLOS* (*Deep Level Optical Spectroscopy*) e misura di transienti capacitivi in seguito all'applicazione di impulsi in polarizzazione inversa. I risultati sperimentali hanno evidenziato i seguenti aspetti: (i) la capacità di giunzione complessiva dei dispositivi, che a sua volta è quindi legata al massimo campo elettrico della giunzione, è fortemente correlata al *RAET Fail*; (ii) l'ampiezza dei transienti capacitivi, legata a fenomeni di intrappolamento, è fortemente correlata al parametro *Slippage/RAET Fail*, suggerendo quindi che la densità di difetti presenti sulla struttura cristallina può influenzare fortemente la robustezza ESD dei LED quando sono già stati sottoposti ad un primo impulso di scarica elettrostatica e successivamente ne subiscono un secondo. Questo risultato fondamentale in particolare è stato confermato anche dalle misure di *DLTS* e *DLOS*.

Infine nell'ultima parte dell'attività di ricerca ci si è focalizzati nell'analisi della robustezza ESD di diverse famiglie di LED commerciali di tipo RGB: in tal modo abbiamo potuto analizzare il comportamento alle scariche ESD di due diverse tecnologie di LED: quelli verdi e blu basati su *GaN* e quelli rossi basati su *AlInGaP*. Per eseguire tale caratterizzazione abbiamo sottoposto i vari dispositivi a test ESD mediante l'uso di un *Transmission Line Pulser* (TLP): tale sistema è in grado di simulare eventi di scarica elettrostatica generando impulsi rettangolari di durata 100 ns e tensione crescente, fino ad alcune migliaia di volt. I risultati sperimentali possono essere riassunti nei seguenti punti fondamentali: (i) i LED rossi basati su *AlInGaP* mostrano una maggiore robustezza ESD rispetto ai LED verdi e blu basati su *GaN*, sia nei test eseguiti in polarizzazione diretta, sia in polarizzazione inversa. (ii) Impulsi TLP in polarizzazione inversa con un livello di corrente più piccolo della soglia di *failure* possono indurre una diminuzione della corrente di *leakage* inversa nei LED basati su *GaN*: questo fenomeno in particolare può essere attribuito ad una parziale distruzione dei difetti dovuta agli elevati valori di densità di corrente da cui vengono

attraversati durante gli impulsi; considerando che, come già discusso in precedenza, tali difetti sono responsabili per la conduzione in polarizzazione inversa, una loro parziale distruzione ovviamente comporta una riduzione del *leakage* inverso. (iii) il meccanismo tipico di *failure* dei dispositivi è rappresentato da un evento catastrofico, che si manifesta in una improvvisa cortocircuitazione della giunzione ed un brusco aumento della corrente di *leakage*. Tuttavia alcuni dei LED analizzati hanno mostrato un “*soft*” *failure*, che si manifesta in un graduale aumento della corrente di *leakage* e corrispondente diminuzione dell'efficienza ottica.

Titolo definitivo della tesi:

Analysis of defects and physical mechanisms that limit the ESD robustness of Light Emitting Diodes

Supervisore: Prof. Enrico Zanoni

### **Parte 3: Pubblicazioni**

-Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- N. Trivellin, M. Meneghini, C. De Santi, S. Vaccari, G. Meneghesso, E. Zanoni, K. Orita, S. Takigawa, T. Tanaka, D. Ueda, “Degradation of InGaN lasers: Role of non-radiative recombination and injection efficiency”, *Microelectronics Reliability* 51, pp. 1747–1751, 2011.
- M. Meneghini, S. Vaccari, N. Trivellin, D. Zhu, C. Humphreys, R. Butendheich, C. Leirer, B. Hahn, G. Meneghesso, and E. Zanoni, “Analysis of defect-related localized emission processes in InGaN/GaN-based LEDs”, *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 59, no. 5, pp. 1416-1422, May 2012.
- M. Meneghini, S. Vaccari, A. Garbujo, N. Trivellin, D. Zhu, C. J. Humphreys, M. Calciati, M. Goano, F. Bertazzi, G. Ghione, E. Bellotti, G. Meneghesso, and E. Zanoni, “Electroluminescence analysis and simulation of the effects of injection and temperature on carrier distribution in InGaN-based LEDs with color-coded quantum wells”, *Japanese Journal of Applied Physics* 52 (2013) 08JG09.
- S. Vaccari, M. Meneghini, A. Griffoni, D. Barbisan, M. Barbato, S. Carraro, M. La Grassa, G. Meneghesso, and E. Zanoni, “ESD characterization of multi-chip RGB LEDs”, *Microelectronics Reliability* (53), 1510-1513, 2013. Oral presentation at 24<sup>th</sup> European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis, ESREF 2013, September 30<sup>th</sup> - October 4<sup>th</sup> 2013, Arcachon – France.
- C. De Santi, M. Meneghini, S. Carraro, S. Vaccari, N. Trivellin, S. Marconi, M. Marioli, G. Meneghesso, and E. Zanoni, “Variation in junction capacitance and doping activation associated with electrical stress of InGaN/GaN laser diodes”, *Microelectronics Reliability* (53), 1534-1537, 2013. Poster presentation at 24<sup>th</sup> European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis, ESREF 2013, September 30<sup>th</sup> - October 4<sup>th</sup> 2013, Arcachon – France.

- M. Meneghini, S. Vaccari, M. Dal Lago, S. Marconi, A. Griffoni, A. Alfier, G. Verzellesi, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "ESD degradation and robustness of RGB LEDs and modules: an investigation based on combined electrical and optical measurements", accepted for publication on Microelectronics Reliability journal.

-Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- S. Vaccari, M. Meneghini, D. Zhu, C. J. Humphreys, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Extensive electroluminescence analysis of InGaN-based Light-Emitting Diodes: temperature and current-dependent effects", Proc. of 20th European workshop on Heterostructure Technology, HeTech 2011, 7-9th November 2011, Lille, France.
- S. Vaccari, M. Meneghini, N. Trivellin, D. Zhu, C. Humphreys, R. Butendheich, C. Leirer, B. Hahn, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Extensive study of luminescence processes related to localized defects in InGaN-based Light Emitting Diodes", Proc. of 36<sup>th</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits, WOCSDICE 2012, May 28-30<sup>th</sup> 2012, Island of Porquerolles, France.
- S. Vaccari, M. Meneghini, D. Zhu, C. J. Humphreys, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Current and temperature dependence of electroluminescence in InGaN-based LEDs with multi-wavelength emission", Proc. of 9<sup>th</sup> International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices 2012, ISSLED 2012, July 22<sup>nd</sup> - 27<sup>th</sup> 2012, Berlin, Germany.
- N. Trivellin, M. Meneghini, S. Vaccari, B. Hahn, C. Leirer, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Electrical, spectral and thermal analysis of yellow luminescent dots in InGaN green LEDs", Proc. of International Workshop on Nitride Semiconductors 2012, IWN 2012, October 14-19<sup>th</sup> 2012, Sapporo, Japan.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **VACCARI Simone** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **ZANANDREA Alberto** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **ZANANDREA Alberto** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

Parte 1 Didattica

Corsi seguiti

Dose, effect, threshold - 2011	DEI048	Specifico	12	3.0	22/03/2011	50/50
Introduction to Quantum Optics I	SCH48	Specifico	12	3.0	26/07/2011	30/30
Introduction to Quantum Optics II	SCH49	Specifico	12	3.0	26/07/2011	30/30
Bioelectromagnetics	DEI030	Specifico	12	3.0	19/09/2011	30/30
Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices	DEI007	Specifico	20	5.0	22/03/2011	50/50
Applied linear algebra	DEI002	Comune	16	4.0	26/07/2011	27/30
Statistical Methods 2011	DEI057	Comune	24	6.0	26/07/2011	In attesa di valutazione

Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

SSIE - Scuola estiva in Ingegneria dell'Informazione	Università di Padova	15-21/7/2012
SSIE - Scuola estiva in Ingegneria dell'Informazione	Università di Padova	30/6- 6/7/2013

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED	Università di Padova	04/05/2011
My life in Silicon Valley	F. Faggin	07/05/2011
Solar Workshop	Giakova	31/05/2011
La tecnologia MEMS: uno sguardo oltre la legge di Moore	F. Solazzi	19/05/2011
Interruttori MEMS a Radiofrequenza: affidabilità a lungo termine per applicazioni satellitari	F. Solazzi	20/05/2011
Processi Laser per le Tecnologie Fotovoltaiche	P.Villoresi,	21/10/2011

	S.Buratin	
Ricerca e industria del fotovoltaico in Italia	Università di Padova	10/2/2012
Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators	G. De Nicolao	20/03/2012
From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving	A. Broggi	16/04/2012
The Japanese smart grid and its related power electronics	Università di Padova	25/2/2013
Workshop - Il Polo Fotovoltaico del Veneto	Università di Padova	23/4/2013
European universities facing the Asian challenge in science and technology. The role of evaluation.	Università di Padova	30/5/2013
Architecture and applications of software defined environments	Università di Padova	27/9/2013

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

HETECH 2011

WOCSDICE 2012

RADECS 2012

ESREF 2012

IRPS 2013

ESREF 2013

ECS 2013

WIPDA 2013

#### Permanenza all'estero

NPI Project	ESTEC, ESA	6/6-21/12/2012
“GaN HEMT Reliability Assessment and Identification of Degradation Mechanisms”	Noordwijk The Netherlands	21/1-5/2/2013

#### Parte 2 Ricerca

L'attività durante il dottorato è stata prevalente dedicata a tre progetti europei: HipoSwitch, AllnWon ed E2COGaN.

- ❖ Progetto HipoSwitch: sono state rese disponibili strutture innovative, appartenenti alle famiglie GBT e GPG, che hanno la principale caratteristica di essere normally-off. L'analisi ha coinvolto singole eterostrutture senza drogaggio, con drogaggio C o Fe, doppie eterostrutture ed infine strutture contenenti con back-barrier layers cresciuti su

buffer drogati. In molti casi tali strutture sono state fornite con substrato n-type SiC o Ar<sup>+</sup>-implanted SiC. L'attività ha incluso:

- Caratterizzazione DC. I dispositivi drogati Carbonio mostrano un leakage elevato. I wafers GaN:Fe mostrano  $I_{DS}$  and  $R_{ON}$  migliori dei wafers DH ma  $V_{Th}$  minori mentre l'impiantazione ionica invece risulta avere pochi effetti sul comportamento DC. I dispositivi Ar<sup>+</sup> DH hanno  $I_{DS}$  inferiore e maggiore  $V_{Th}$ .
  - Studio dei fenomeni di instabilità. In tutte le eterostrutture è presente un elevato current collapse (CC), che raggiunge il massimo nei campioni GaN:C. L'impiantazione di Argon su SiC causa una consistente variazione di soglia  $\Delta V_{Th}$  su wafer AlGaN/GaN/AlGaIn e GaN:Fe, probabilmente dovuto a una maggiore concentrazione delle trappole nel buffer layer sotto il gate. E' comunque stato possibile osservare risultati simili a quelli in letteratura; purtroppo, l'introduzione del gate con p-type GaN rende molto difficile individuare correttamente i livelli di delle trappole.
  - Studio dell'affidabilità dalle differenti strutture epitassiali e degli effetti indotti da doping su buffer e substrato, in condizioni a substrato floating e grounded. I risultati possono essere riassunti in due punti: (i) il breakdown migliore è stato riscontrato nella singola eterostruttura con buffer drogato carbonio (ii) l'analisi del comportamento in breakdown dei dispositivi in doppia eterostruttura o singola drogata Fe in caso di substrato a massa evidenzia come tali strutture soffrono di breakdown verticale: sono stati riscontrati comportamenti diversi a seconda delle caratteristiche del substrato, essendo migliori i risultati in caso di SiC drogato Ar.
  - Analisi dell'influenza dei Field Plates (FP): singoli, multipli, connessi a gate (GCFP) e/o source (SCFP). Il loro effetto è visibile solo nel caso della misure di breakdown, che è migliore nella soluzione con il solo GCFP.
- ❖ Progetto AlInWon: studio della tecnologia InAlN/GaN HEMT a confronto con la tradizionale AlGaIn/GaN per applicazioni spaziali. L'attività è stata focalizzata prevalentemente nella caratterizzazione di base, fenomeni di instabilità, affidabilità e radiation hardening della prima generazione del progetto.
- Caratterizzazione DC. Pur essendo nominalmente molto simili, i dispositivi del wafer 1815 hanno correnti di drain più elevate ( $\approx 0.9A/mm$ ), comparabili con quelle riscontrate in letteratura per la tecnologia AlInN; si riscontra però anche un leakage di un ordine di grandezza superiore rispetto ai dispositivi 1814, dovuto probabilmente alla diversa tensione di soglia ( $\approx -1.8V$  per 1815,  $\approx -0.5V$  per 1814). La disuniformità riscontrata in molti parametri per entrambi i wafers suggerisce che il processo di realizzazione sia ancora immaturo.
  - Studio dell'instabilità. Il wafer AEC1814 sembra essere maggiormente predisposto al CC rispetto al AEC1815 ( $\approx 40\%$  e  $39\%$  nel primo,  $\approx 12\%$  e  $17\%$  nel secondo a  $V_{DS}=2V$  and  $V_{DS}=10V$  rispettivamente). Misure impulsive mostrano una variazione positiva della soglia  $\Delta V_{Th}$  rivelando la presenza di trappole sotto il gate nel buffer. Nei dispositivi AEC1814 sono state individuate inoltre trappole nel canale, come indicato dalla riduzione del picco della transconduttanza. L'applicazione di FP e SCFP in dispositivi con  $W_G > 50 \mu m$  sembrano essere inefficaci nel migliorare le prestazioni in impulsata.

- L'irraggiamento con protoni a diverse fluenze (da  $1 \cdot 10^{14}$  p/cm<sup>2</sup> a  $4 \cdot 10^{14}$  p/cm<sup>2</sup>) mostra un comportamento non monotono, con un picco a  $3 \cdot 10^{14}$  p/cm<sup>2</sup>. Inoltre sono visibili i seguenti effetti (i) spostamento soglia  $\Delta V_{Th}$ , (ii) riduzione della transconduttanza massima e (iii) aumento delle correnti di leakage. Un successivo periodo di annealing a temperatura ambiente non ha portato a recupero o miglioramento significativo nelle prestazioni. Nuovi test impulsati mostrano un aumento del CC, dovuto ad un aumento della popolazione dei trappole. I risultati ottenuti risultano in linea con quelli riportati in letteratura; essi sono in generale attribuiti a fenomeni di displacement damage dovuti all'impatto dei protoni.
- ❖ Progetto E2COGaN: l'obiettivo è la realizzazione di dispositivi GaN-on-Si che possano offrire dispositivi in grado di funzionare ad alte prestazioni con un opportuno trade-off tra elevate frequenze e potenze di funzionamento, minor footprint e peso ed infine costi competitivi. Sono stati analizzati dispositivi con diversi processi di recessing per il gate e con diverse concentrazioni di Si nella passivazione SiN<sub>x</sub>. L'attività svolta finora riguarda:
- Caratterizzazione DC. La problematica principale è la variabilità della soglia dei dispositivi attribuita al processo di recesso utilizzato. Per quanto riguarda il leakage, risultati positivi sono ottenuti tramite la deposizione di un layer isolante AlN. Tuttavia, i dispositivi con concentrazione maggiore di Si nel SiN<sub>x</sub> mostrano leakage maggiore e un comportamento anomalo con improvvisi aumenti della corrente, probabilmente dovuti all'attivazione di percorsi parassiti in condizioni di elevate tensioni tra gate e drain.
- Studio dell'instabilità. A tale scopo sono state effettuate misure pulsate: non si vede differenza al variare della concentrazione di silicio. Lo studio dei transienti sarà effettuato al fine di stabilire trappole e loro livelli di energia.
- ❖ Progetto NPI: il lavoro è stato svolto presso ESTEC, sezione tecnologie per l'Ente Spaziale Europeo, sotto la direzione di Andrew Barnes. L'attività è stata incentrata sulla caratterizzazione di dispositivi AlGaIn/GaN che include:
- Caratterizzazione base DC e Double Pulse
  - Studio del breakdown tramite misure controllate in corrente e Off-state step-stresses
  - Studio dell'affidabilità tramite test di vita accelerata
  - Effetti della temperatura nei processi di degradazione ed invecchiamento
  - Caratterizzazione RF
  - Studio del comportamento con test Load-Pull
  - RF Stress a VSWR variabile
- Nei campioni considerati si sono riscontrate delle relazioni tra la degradazione catastrofica dei dispositivi a determinate tensioni e il fenomeno di breakdown che in quelle stesse condizioni induce un forte incremento delle correnti nel dispositivo in off-state. I test accelerati in temperatura hanno rivelato la fragilità dei dispositivi se polarizzati in classe A; si sospetta la causa sia legata alla elevata dissipazione di potenza associata al punto di lavoro scelto, che in concomitanza con l'elevata temperatura causa un decadimento significativo dei dispositivi testati nell'arco di

circa 100 ore di stress.

Nell'ultimo periodo, tra gennaio e febbraio 2013, l'attività principale è stata la standardizzazione dei sistemi usati nell'anno precedente, la creazione di documentazione di riferimento, la verifica e l'implementazione definitiva di software atto ad automatizzare l'estrazione e analisi dei dati. Sono stati inoltre proseguiti i test preliminari per lo stress in RF dei dispositivi al variare del Voltage Standing Wave Ratio (VSWR).

Titolo definitivo della tesi: "Open issues in GaN-based HEMTs: performances, parasitics and reliability"

Supervisore: Gaudenzio Meneghesso

Parte 3 Pubblicazioni

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

1. G. Meneghesso, M. Meneghini, D. Bisi, R. Silvestri, A. Zanandrea, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, F. Brunner, A. Knauer, J. Wuerfl, E. Zanoni, **GaN-Based Power HEMTs: Parasitic, Reliability and High Field Issues**, *ECS Trans. to be published*
2. I. Rossetto, F. Rampazzo, R. Silvestri, A. Zanandrea, C. Dua, S. Delage, M. Oualli, M. Meneghini, E. Zanoni, G. Meneghesso, **Comparison of the performances of an InAlN/GaN HEMT with a Mo/Au 4 gate or a Ni/Pt/Au gate**, *Microel. Rel. to be published*
3. M. Meneghini, A. Zanandrea, F. Rampazzo, A. Stocco, M. Bertin, G. Cibin, D. Pogany, E. Zanoni, G. Meneghesso, **Electrical and electroluminescence characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs operated in sustainable breakdown conditions**, *Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 08JN17*
4. G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Stocco, D. Bisi, C. de Santi, I. Rossetto, A. Zanandrea, F. Rampazzo, E. Zanoni, **Degradation of AlGaIn/GaN HEMT devices: Role of reverse-bias and hot electron stress**, *Microel. Eng. 109 (2013) 257-261*
5. A. Zanandrea, E. Bahat-Treidel, F. Rampazzo, A. Stocco, M. Meneghini, E. Zanoni, O. Hilt, P. Ivo, J. Wuerfl, G. Meneghesso, **Single- and double-heterostructure GaNHEMTs devices for power switching applications**, *Microel. Rel. 52 (2012) 2426-2430*

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

1. F. Iucolano, C. Miccoli, M. Nicotra, A. Stocco, F. Rampazzo, A. Zanandrea, V. Cinnera Martino, A. Patti, S. Rinaudo, F. Soci, A. Chini, E. Zanoni, G. Meneghesso, **Influence of properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> passivation layer on the electrical characteristics of Normally-off AlGaIn/GaN HEMT**, *WIPDA 2013*

2. G. Meneghesso, M. Meneghini, D. Bisi, R. Silvestri, A. Zanandrea, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, F. Brunner, A. Knauer, J. Wuerfl, E. Zanoni, **GaN-Based Power HEMTs: Parasitic, Reliability and High Field Issues**, *ECS 2013*
3. Rossetto, F. Rampazzo, R. Silvestri, A. Zanandrea, C. Dua, S. Delage, M. Oualli, M. Meneghini, E. Zanoni, G. Meneghesso, **Comparison of the performances of an InAlN/GaN HEMT with a Mo/Au 4 gate or a Ni/Pt/Au gate**, *ESREF 2013*
4. G. Meneghesso, A. Zanandrea, A. Stocco, I. Rossetto, C. De Santi, F. Rampazzo, M. Meneghini, E. Zanoni, **GaN-HEMTs devices with Single- and Double-heterostructure for power switching applications**, *IRPS 2013 Invited Paper*
5. M. Meneghini, A. Zanandrea, F. Rampazzo, A. Stocco, M. Bertin, G. Cibin, D. Pogany, E. Zanoni, G. Meneghesso, **Electrical and electroluminescence characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs operated in sustainable breakdown conditions**, *IWN 2012 Best Paper Award*
6. A. Zanandrea, E. Bahat-Treidel, F. Rampazzo, A. Stocco, M. Meneghini, E. Zanoni, O. Hilt, P. Ivo, J. Wuerfl, G. Meneghesso, **Single- and double-heterostructure GaN-HEMTs devices for power switching applications**, *ESREF 2012 Best Paper Award*
7. A. Zanandrea, S. Gerardin, F. Rampazzo, G. Meneghesso, E. Zanoni, A. Paccagnella, **Degradation of AlInN/AlN/GaN High Electron Mobility Transistors under Proton Irradiation**, *RADECS 2012*
8. A. Zanandrea, E. Bahat-Treidel, P. Ivo, F. Rampazzo, A. Stocco, M. Meneghini, E. Zanoni, J. Wuerfl, G. Meneghesso, **Characterization of GaN-based Single- and Double-Heterostructure Devices**, *WOCSDICE 2012*
9. A. Zanandrea, F. Rampazzo, A. Stocco, E. Zanoni, D. Bisi, F. Soci, A. Chini, P. Ivo, J. Wuerfl, G. Meneghesso, **DC and Pulsed Characterization of GaN-based Single- and Double-Heterostructure Devices**, *HeTech 2011*

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **ZANANDREA Alberto** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **ZECCHIN Chiara** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **ZECCHIN Chiara** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

**Parte 1: Didattica**

Corsi:

<b>Corsi riconosciuti nel piano di studi</b>	<b>Professore</b>	<b>Ore</b>
Dose, effect, threshold	A. Trevisan	12
Dynamical models in system biology	C. Altafini	16
Dynamics over networks	F. Fagnani	20
Statistical methods	L. Finesso	24
Applied Linear Algebra	H. Wimmer and T. Damm	16
<b>Tot Ore</b>		<b>88</b>
<b>Corsi non riconosciuti nel piano di studi</b>	<b>Professore</b>	<b>Ore</b>
Statistical methods*	M. Chiogna	30
<b>Tot Ore</b>		<b>30</b>

\* Statistical Methods, Doctoral School in Statistics, Department of Statistical Sciences, University of Padova.

Scuole di dottorato:

- 7<sup>th</sup> International Summer School on Pattern Recognition (ISSPR'11), 4-9 September, 2011, Plymouth, (UK).
- XXX Scuola Annuale Neuroinformatica, 19-23 Settembre 2011, Casa della Gioventù dell'Università di Padova, Bressanone, (Italy).
- 2<sup>nd</sup> "Lisbon Machine Learning School: taming the social web" (LxMLS 2012). 19-25 July 2012, Instituto Superior Técnico, Lisbon, (Portugal).
- XXXI Scuola Annuale di Bioingegneria, "Dalla ricerca al mercato: trasformare il risultato della ricerca in un prodotto". 17-21 Settembre 2012, Casa della Gioventù dell'Università di Padova, Bressanone, (Italia).

Seminari:

- 21/01/2011: "C'è spazio per tutti. Il grande racconto della geometria." Piergiorgio Odifreddi.

- 28/01/2011: "What are moment problems and why are they useful in system and control?". Prof Anders Lindquist (Royal Institute of Technology, Stockholm).
- 26/05/2011: "Input driven consensus algorithm for distributed estimation and classification in sensor networks." Post-Doc Chiara Ravazzi, (Politecnico di Torino).
- 1/06/2011: "Research activities at the Pattern Recognition Lab of the University of Erlangen-Nuremberg" Dott. Davide Piccini – (Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Germany).
- 2/11/2011: "Towards artificial/ computational sapience (wisdom)" Dr René Mayorga, (University of Regina, Saskatchewan, Canada).
- 12/01/2012: "Computing with Evolving Data", Prof. Eli Upfal, (Brown University, USA).
- 28/02/2012: "Computer Vision & Machine Learning", Dott Loris Nanni (Università degli Studi di Padova, DEI).
- 29/02/2012: "La frequenza alpha individuale dell'EEG: metodiche di stima e potenziali applicazioni", Ing Anahita Goljahani, (Università degli Studi di Padova, DEI).
- 24/04/2012: "Acquisizione di EEG e potenziali evento-relati", Raffaele Orsato, (Micromed). e presentazione progetto "Sviluppo di un sistema di analisi della variabilità intra-individuale dell'elettroencefalogramma per l'identificazione precoce di deficit cognitivi", C. D'Avanzo (Dip di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova) e Giorgio Arcara (Dip di Psicologia, Università di Padova).
- 16/05/2012: "Metodiche di stima della connettività cerebrale mediante EEG", Ing. E. Sartori, (Università degli Studi di Padova, DEI).
- 23/04/2013: (14:00), "Non-glucose oxidase-based sensing technologies: a review", Dr Natalie Wisniewski, PhD, (Medical Device Consultancy/Profusa, San Francisco, CA). Dexcom, San Diego, CA.
- 24/05/2013: (11:30), "The Treatment of Diabetes before the Discovery of Insulin - The Impact of Social and Cultural Influences", Ms Rebecca Hawkins, UCSD (San Diego, CA). Dexcom, San Diego, CA.
- 10/09/2013: (14:30), "Caratterizzazione del fenomeno di desincronizzazione dei ritmi cerebrali con applicazione ad una piattaforma di Brain Computer Interface per la riabilitazione motoria di pazienti reduci da ictus", Prof. S. Pupolin e Ing. G. Cisotto, DEI.
- 18/09/2013: (09:00), "Advances in microscopy and applications to biology and medicine: imaging and big data", Prof Francesco Vanzi, LENS (Firenze).
- 18/09/2013: (11:00), "Big data: predictive models and reproducibility in computational biology", Prof Cesare Furlanello, Fondazione Bruno Kessler, (Trento).

Impact lectures:

- 05/05/2011: "Può l'informazione modificare il cervello?". Prof. Lamberto Maffei, (Scuola Normale Superiore di Pisa).
- 20/03/2012: "Toxic numbers? The splendor and miseries of bibliometric indicators", Prof. G. De Nicolao (Università di Pavia).
- 16/04/2012: "From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving", Prof A. Broggi (Università di Parma).
- 8/05/2012: "From nanotechnology to nanoscience", Prof F. Beltram, (normale di Pisa).
- 10/09/2012: "Social networks- models, methods and analysis", P. Raghavan, (Google),

Mountain View, CA).

Workshops:

- 19/09/2013: (14:30), "High performance scientific computing".
- 3/10/2013: (9:00), "Brain computer interface (BCI) – workshop and hands-on seminar", gtech medical engineering (Austria) and the university of Padova.

Partecipazione a conferenze internazionali e nazionali

- 33<sup>rd</sup> Annual International Conference of the IEEE-EMBS, Aug 29-Sep 3, 2011, Boston, (MA).
- 5<sup>th</sup> International Conference on ATTD, Feb 8-11, 2012, Barcelona, (Spain).
- Terzo Congresso del Gruppo Nazionale di Bioingegneria, 26-29 Giu 2012, Roma (Italia).
- 34<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE-EMBS, Aug 28-Sep 1, 2012, San Diego, (CA).
- 12<sup>th</sup> DTM, Nov 8-10, 2012, Bethesda, (MD).
- 6<sup>th</sup> International Conference on ATTD, Feb 27-Mar 2, 2013, Paris, (France).

Didattica attiva:

- Assistenza ai laboratori del corso Informatica Medica 2011/2012, tenuto dal Prof Sparacino G. (30 ore previste nell'ambito del contratto tutor junior).
- Assistenza ai laboratori del corso Informatica Medica 2012/2013, tenuto dal Prof Sparacino G. (50 ore previste nell'ambito del contratto tutor junior).
- Assistenza ai laboratori del corso Informatica Medica 2013/2014, tenuto dal Prof Sparacino G. (4 ore).

Permanenza all'estero:

3/04/2013-29/06/2013: Visiting student presso DexCom Inc, (San Diego, CA).

**Parte 2: Ricerca**

Il diabete mellito è una patologia cronica caratterizzata da disordini nella secrezione e azione dell'insulina. Negli ultimi 15 anni la commercializzazione di sensori minimamente invasivi per il continuous glucose monitoring (CGM) ha aperto spiragli per un significativo miglioramento della terapia diabetica. Tali dispositivi sono in grado di misurare in tempo reale la glicemia quasi in continua per circa 7 giorni consecutivi. Ciò rende possibile un monitoraggio fine delle dinamiche glicemiche e la generazione di allarmi quando la glicemia eccede il range di normalità, permettendo al paziente di applicare opportune contromisure. Ulteriori miglioramenti si otterrebbe conoscendo in anticipo l'andamento glicemico futuro e evitando totalmente le crisi ipoglicemiche, per esempio generando allarmi prima che si verifichi l'evento critico (es. 30-45 minuti prima). A tal fine è utile sviluppare algoritmi in grado di predire la glicemia. Questo argomento di ricerca pone tuttavia notevoli sfide, dovute sia a problemi tecnici legati al sensore (rumorosità dei dati), sia all'aleatorietà con cui l'organismo umano reagisce a situazioni apparentemente simili.

L'attività di ricerca principale prevista nel programma di dottorato è incentrata sulla predizione della glicemia futura, sfruttando reti neurali, poiché esse permettono di incorporare agevolmente

all'interno del modello informazioni riguardanti segnali noti di diversa natura, che influenzano la glicemia (es: glicemie passate, pasti, dosi di insulina iniettate e attività fisica svolta dal soggetto), e sono in grado di approssimare funzioni non lineari complesse.

Durante il primo anno è stata svolta una ricerca bibliografica sull'utilizzo di varie architetture di reti neurali comunemente utilizzate per la predizione e sono state analizzate le tecniche maggiormente usate per ottimizzare la struttura delle feed-forward neural networks, in modo da settare in maniera ottima il numero di strati nascosti e di neuroni presenti in ogni strato. A livello implementativo, è stato ottimizzato e migliorato il modello predittivo proposto durante la tesi magistrale, costituito da una rete neurale feed-forward in parallelo con un modello lineare. In particolare, la rete neurale è in grado di sfruttare informazioni sul pasto futuro, fornite dal soggetto, opportunamente elaborate attraverso un modello fisiologico che genera un segnale proporzionale alla rate of appearance dei carboidrati nel sangue, ovvero alla velocità con cui diventano effettivamente disponibili per l'organismo. I risultati ottenuti sia su dataset simulato che su dataset reale dimostrano che la rete neurale sviluppata è superiore ad altre recentemente proposte in letteratura e a modelli autoregressivi ed è robusta ad imprecisioni relative all'orario dei pasti e alla quantità di carboidrati ingeriti [J1,C1,C10].

Successivamente, a cavallo tra primo e secondo anno di dottorato, sono stati analizzati, in simulazione, i potenziali benefici ottenuti dalla generazione di allarmi, mirati ad evitare l'ipoglicemia e basati sulla predizione della glicemia futura ottenuta col modello precedentemente sviluppato. Sono stati valutati, su pazienti virtuali, la diminuzione del numero di crisi ipoglicemiche e del tempo totale speso in ipoglicemia, se si prevede che il soggetto prenda opportune contromisure (es. ingestione di carboidrati) sulla base di allarmi generati dalla glicemia predetta. Inoltre è stata valutata la robustezza del sistema a ritardi nell'assunzione di carboidrati, in seguito alla generazione dell'allarme predittivo [J3,C2,C4]. Per confermare tale risultato in vivo è stato progettato, sia attraverso analisi in simulazione, sia attraverso analisi retrospettive su serie temporali di pazienti reali, monitorati con sensore DexCom, uno studio clinico per la quantificazione dei benefici ottenibili implementando, nel sensore commerciale Dexcom G4, allarmi generati sulla base della predizione della glicemia futura [C7]. Tale studio prevede la collaborazione tra il nostro gruppo di ricerca, DexCom Inc (San Diego, CA) e Mayo Clinic (Rochester, MN).

Durante il secondo anno di dottorato e parte del terzo anno è stato migliorato il modello predittivo precedentemente proposto, sfruttando una rete neurale di tipo jump che, a differenza di quanto proposto in [J1,C1], è in grado autonomamente di predire la concentrazione glicemica, modellizzando sia i legami lineari che quelli non lineari tra ingressi e glicemia futura. Tale algoritmo è stato dimostrato essere equivalente, in termini di bontà della predizione, a quello proposto in [J1,C1], nonostante la struttura più semplice e computazionalmente meno onerosa. Inoltre, vale la pena sottolineare che la rete neurale jump, a differenza della rete neurale precedentemente proposta, utilizza informazioni sul pasto attuale e non sul pasto futuro, essendo, quindi, più facilmente utilizzabile nella quotidianità [J6,C3,C9].

Nel corso del terzo anno di dottorato l'architettura jump è stata utilizzata per un'analisi completa e sistematica dei benefici effettivi derivanti dall'introduzione di informazioni su pasti e terapia insulinica tra gli ingressi della rete, sviluppando 4 modelli in cui i segnali esogeni erano entrambi presenti, solo uno dei due presenti, entrambi assenti. La valutazione è stata ripetuta per vari orizzonti di predizione, fino a 60 minuti. In particolare, gli ingressi della rete neurale sono la

glicemia attuale, il trend glicemico, ottenuto attraverso una procedura di smoothing bayesiano per minimizzare l'influenza del rumore di misura sovrapposto ai dati e, nei modelli che sfruttano anche gli input esogeni, informazioni sul pasto e sull'iniezione insulinica, preventivamente processate attraverso un modello fisiologico per stimare un segnale proporzionale alla rate of appearance, nel plasma, dei carboidrati e dell'insulina, rispettivamente. Per quanto riguarda il training della rete neurale, sono state valutate varie procedure, che tenessero conto dell'aderenza della predizione al segnale target, ma anche della capacità di generalizzare su dati non visti, evitando una convergenza prematura dell'algoritmo di training. Infine, è stata svolta un'analisi di sensitività della predizione agli ingressi, per determinare quali segnali effettivamente hanno un peso centrale nella determinazione della glicemia predetta. Parallelamente a questo lavoro è stata svolta un'analisi di correlazione tra attività fisica, misurata attraverso accelerometro, e trend glicemico [J4,C5,C6], al fine di utilizzare tale risultato quantitativo all'interno di algoritmi predittivi della glicemia futura.

Titolo tesi: Online glucose prediction in type 1 diabetes by neural network models.

Supervisore: Prof. Giovanni Sparacino.

### **Parte 3: Pubblicazioni**

#### Pubblicazioni su rivista internazionale:

- J1. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G., Cobelli C., "Neural networks incorporating meal information improves accuracy of short-time prediction of glucose concentration", IEEE Trans Biomed Eng, 2012; 59(6):1550-1560.
- J2. Sparacino G., Zanon M., Facchinetti A., Zecchin C., Maran A., Cobelli C., "Italian Contributions to the Development of Continuous Glucose Monitoring Sensors for Diabetes Management", Sensors, 2012; 12(10):13753-13780.
- J3. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C., "Reduction of number and duration of hypoglycemic events by glucose prediction methods: a proof-of-concept in silico study", Diabetes Technol Ther, 2013; 15(1):66-77.
- J4. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Dalla Man C., Manohar C., Levine J.A., Basu A., Kudva Y., Cobelli C., "Physical Activity Measured by Physical Activity Monitoring System Correlates with Glucose Trends Reconstructed from Continuous Glucose Monitoring", Diabetes Technol Ther, 2013; 15(10), 836-844.
- J5. Garcia A., Rack-Gomer A.L., Bhavaraju N., Kamath A., Hampapuram H., Peyser T., Facchinetti A., Zecchin C., Sparacino G., Cobelli C., "An Advanced CGM for the Artificial Pancreas: the Dexcom G4AP", J Diabetes Sci Technol, 2013, in press.
- J6. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C., "Jump Neural Network for Online Short-Time Prediction of Blood Glucose from Continuous Monitoring Sensors and Meal Information", Comput Meth Prog Biomed, 2013, in press.

#### Pubblicazioni su convegno internazionale:

- C1. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G., Cobelli C. "A New Neural Network Approach for Short-Term Glucose Prediction Using Continuous Glucose Monitoring Time-Series and Meal Information" 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in

Medicine and Biology Society (EMBC'11), Boston, (MA), Aug 29-Sep 3, 2011.

C2. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C. "Hypoglycemic alerts generated by short-time glucose prediction reduce time spent in hypo: *in silico* study", Abstract book of the 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes ATTD, Barcelona (Spain), 8-11 Feb, 2012.

C3. Zecchin C., Cherubin L., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C. "Jump neural network for short-time prediction of glucose concentration using meal information in type 1 diabetes", Abstract book of the 34<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC'12), San Diego (CA, USA), 28 Aug-1 Sept 2012.

C4. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C. "Prediction-based alerting methods could reduce number and duration of hypoglycemic events: an *in silico* quantification", Abstract book of the 12<sup>th</sup> Diabetes Technology Meeting (DTM), Bethesda (MD, USA), 8-10 Nov 2012.

C5. Zecchin C., Facchinetti A., Manohar C., Kudva Y.C., Levine J.A., Basu A., Sparacino G., Dalla Man C., Cobelli C. "Physical activity measured by PAMS device correlates with first- and second-order glucose concentration derivatives", Abstract book of the 12<sup>th</sup> Diabetes Technology Meeting (DTM), Bethesda (MD, USA), 8-10 Nov 2012.

C6. Zecchin C., Facchinetti A., Manohar C., Kudva Y.C., Levine J.A., Basu A., Sparacino G., Dalla Man C., Cobelli C., "Physical Activity Measured by PAMS vs. CGM Trends: Correlation Analysis", Book of Abstracts, 6th International Conference on ATTD, Paris (France), Feb 27-Mar 2, 2013.

C7. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Kamath A., Peyser T., Rack-Gomer A.L., Kudva Y.C., Cobelli C., "In silico study to assess potential reduction of severe hypoglycemia by Dexcom G4 Platinum research prototype implementing prediction-based hypoglycemic alerts", Book of Abstracts, 13th DTM, San Francisco (CA, USA), Oct 31-Nov 2.

C8 Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Kamath A., Peyser T., Cobelli C., "Are insulin and meal information useful for short- and mid-term prediction of glucose concentration? An *in silico* assessment", Book of Abstracts, 13th DTM, San Francisco (CA, USA), Oct 31-Nov 2.

C9. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C., "Neural network for prediction of glucose concentration in type 1 diabetic patients", SCAI 2013 Proceedings, 12th Scandinavian Conference on Artificial Intelligence, Aalborg, (Denmark), Nov 20-22, 2013 (accepted).

#### Pubblicazioni su convegno nazionale:

C10. Zecchin C., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C. "Neural network based prediction algorithm to prevent hypoglycemia in type-1 diabetic patients", Terzo Congresso del Gruppo Nazionale di Bioingegneria, Roma (Italia), 26-29 Giu 2012.

#### Brevetti:

B1. Bhavaraju N., Hampapuram H., Kamath A., Rack-Gomer A.L., Cobelli C., Facchinetti A., Sparacino G., Zecchin C., "Systems and methods for providing sensitive and specific alarms". (US provisional patent application No. 61/720,286 deposited 30th Oct 2012). Joint patent of which DexCom Inc. (San Diego, CA) and the University of Padova are co-owner.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **ZECCHIN Chiara** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **ZORDAN Davide** nell'ambito del XXVI ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 il dottor **ZORDAN Davide** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXVI ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

### ***Parte 1 Didattica***

#### **Corsi seguiti**

- Game Theory for Information Engineering (DEI064)
- Dynamics over Networks (SCH46)
- Statistical Methods (DEI057)
- Applied Linear Algebra (DEI002)

#### **Seminari seguiti al DEI o in altre sedi**

- Distinguished Lectures: Filosofia della matematica e matematica della filosofia, Prof. Piergiorgio Odifreddi, (DEI, Padova, 21/10/2010);
- "Energy Efficient Wireless Networks", Prof. Izhak Rubin (UCLA), Politecnico di Torino; 18/4/2011 - 20/4/2011
- Distinguished Lectures: Può l'informazione modificare il cervello?, Prof. Lamberto Maffei, (DEI, Padova, 5/5/2011);
- Distinguished Lectures: My life in Silicon Valley, Dr. Federico Faggin, (DEI, Padova, 8/9/2011);
- Distinguished Lectures: Toxic numbers? The splendors and miseries of bibliometric indicators, Dr. Giuseppe De Nicolao, (DEI, Padova, 20/03/2012);
- Seminario: Energy Efficient Wireless Communication: Impact of Energy Harvesting and Processing Energy, Prof. Elza Erkip, Polytechnic Institute of New York University, (DEI, Padova, 12/4/2012)
- Distinguished Lectures: From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving, Dr. Alberto Broggi, (DEI, Padova, 16/04/2012);
- Distinguished Lectures: Dalla nanotecnologia alla nanoscienza, Dr. Fabio Beltram, (DEI, Padova, 08/05/2012);

- Distinguished Lectures: Social networks - models, methods, and analysis, Prabhakar Raghavan, Google, Mountain View, CA, (DEI, Padova, 10/9/2012)
- Distinguished Lectures: The scientific legacy of hubble space telescope, Dr. Robert Williams, (DEI, Padova, 10/10/2012);
- Seminario: Wireless MAC Processors: Programming and Running MAClets on Hard-Coded Devices, Proff. Ilenia Tinnirello, Università di Palermo e Francesco Gringoli, Università di Brescia, (DEI, 30/10/2012);
- Fundamental limits in compressive sensing of GMM sources, Francesco Renna, University College London, (DEI, 6/9/2013)
- Distinguished Lectures: Conservation science for the cultural heritage: the role of information technology (Maurizio Seracini, Editech & University of California, October 14 2013);
- SIGNET Meetings (2011 – 2012 - 2013): ciclo di seminari settimanali con temi che spaziano da Underwater Communications, Wireless Sensor Networks e Wireless Communications (DEI, Padova);

### **Partecipazione a Conferenze Nazionali**

- “Modeling and Generation of Space-Time Correlated Signals for Sensor Network Fields,” 9th Italian Networking Workshop, 11-13 Gennaio, Courmayeur, Italy.

### **Permanenza all'estero**

- 15/12/2013 – 15/7/2013, visiting scholar presso University at Buffalo, the State University of New York sotto la supervisione del Prof. Tommaso Melodia.

## ***Parte 2 Ricerca***

### **Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato**

L'attività scientifica svolta durante questi tre anni di dottorato si divide in quattro parti:

- Sviluppo di modelli matematici per la generazione di segnali sintetici con correlazione spazio-temporale variabile. Sviluppo di un framework per la generazione di segnali sintetici con la possibilità di controllare sia la correlazione spaziale (2D) che la correlazione temporale. Il framework può essere usato per replicare segnali reali monitorati da una rete di sensori, e testare prestazioni e scalabilità di algoritmi distribuiti di raccolta/compressione dati.  
I risultati ottenuti dimostrano che il framework sviluppato è in grado di stimare i parametri di correlazione spaziale e temporale di un dataset reale e produrre un segnale sintetico con le stesse caratteristiche di interesse.
- Metodi di compressione con perdita di informazione (lossy). E' stata effettuata la valutazione prestazionale di un significativo numero di metodi di compressione

con perdita tratti dalla letteratura, e l'analisi delle loro prestazioni in termini di efficienza di compressione, complessità computazionale e consumo energetico. Come primo passo, è stata effettuata una valutazione delle prestazioni di sistemi di compressione esistenti e nuovi, tra cui: modelli lineari, autoregressivi, basati su FFT/DCT e Wavelet, individuando le loro prestazioni in funzione delle statistiche dei segnali rilevanti. Dopo di che, attraverso interpolazione numerica, sono state derivate delle espressioni in forma chiusa per il consumo globale di energia e la precisione di rappresentazione del segnale. Infine, sono stati valutati i benefici che i metodi di compressione con perdita possono portare in reti multi-hop con interferenze limitate. In questo scenario il canale di accesso diventa fonte di inefficienza attraverso collisioni e metodo di accesso al mezzo. In questo contesto è stato sviluppato un modello matematico per un protocollo di accesso al mezzo su reti di sensori radio. In particolare è stato considerato il protocollo S-MAC, un protocollo sincrono di accesso al mezzo e sono stati caratterizzati throughput, ritardo medio per pacchetto e energia media per time slot in uno scenario multi-hop con struttura di rete e rotte di instradamento prefissate.

I risultati rivelano che le tecniche di compressione basate su DCT sono la scelta migliore in termini di efficienza di compressione, ma non risultano efficienti in termini di consumo energetico. Al contrario, metodi lineari possono dar luce a notevoli risparmi in termini di dispendio energetico, e al tempo stesso, portare a rapporti di compressione soddisfacenti, ritardi di rete ridotti e migliore affidabilità.

- Sviluppo di modelli matematici per la descrizione statistica dell'energia raccolta da pannelli fotovoltaici esterni. La caratterizzazione dell'energia raccolta da pannelli solari è stata ottenuta attraverso lo studio di database di irradiazione solare disponibili online. È stata modellata la corrente in uscita dal pannello solare in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche tecniche del pannello, delle coordinate geografiche e del periodo dell'anno considerato. Successivamente, tramite tecniche di clustering dei dati e Kernel Smoothing, sono stati ottenuti dei modelli Markoviani per la descrizione dell'energia in uscita dal pannello solare. I risultati mostrano che il modello sviluppato presenta una buona accuratezza di rappresentazione in termini di statistiche di primo e secondo ordine.
- Gestione energetica per Energy Harvesting Wireless Sensor Networks nelle quali le batterie dei nodi sensore vengono ricaricate attraverso l'energia raccolta da un pannello solare e sensori possono scegliere di comprimere i dati prima della trasmissione. A tal fine è stato considerato uno scenario in cui un singolo nodo comunica con un singolo ricevitore. L'attività del nodo quella di campionare periodicamente qualche segnale fisico e riportare le misurazioni al ricevitore (sink). Tale attività viene assunta essere tollerante al ritardo, ovvero, il sensore può memorizzare un certo numero di misurazioni nel buffer di memoria e inviare uno o più pacchetti di dati aggregati dopo un certo tempo. Poiché la maggior parte dei segnali fisici manifesta una forte correlazione temporale, i dati nel buffer possono eventualmente essere compressi mediante un metodo di compressione con perdita al fine di ridurre la quantità di dati da inviare. Attraverso metodi di compressione con perdita di dati che permettono di selezionare il rapporto di

compressione possibile scambiare un po' di accuratezza nella ricostruzione dei dati al ricevitore per ottenere maggiori risparmi di energia al trasmettitore. In dettaglio, l'obiettivo di questa parte della ricerca è quello di ottenere la politica, cioè l'insieme di regole decisionali che descrivono il comportamento del nodo sensore, che massimizza il throughput unitamente alla fedeltà di ricostruzione al punto di raccolta soddisfacendo al tempo stesso alcuni vincoli energetici predefiniti, ad esempio, il livello di carica della batteria non deve mai scendere al di sotto di una soglia di guardia. Per ottenere la politica ottima, il sistema è stato modellato attraverso un Processo Decisionale di Markov Vincolato (Constrained Markov Decision Process, CMDP), e risolto attraverso il rilassamento lagrangiano e l'algoritmo di Value Iteration. Le politiche ottimali sono state successivamente confrontate con alcune politiche euristiche in diversi scenari di bilancio energetico. Inoltre è stato studiato l'impatto che il ritardo sulla conoscenza dello stato del canale ha sulle prestazioni del sistema.

### **Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore**

Compression vs Transmission tradeoffs for Energy Harvesting Sensor Networks

Supervisore: Michele Rossi

### **Parte 3 Pubblicazioni**

#### **Elenco pubblicazioni su rivista internazionale**

- [J2] **D. Zordan**, T. Melodia and M. Rossi, "Optimal temporal compression for self-sustainable sensor networks", in preparation
- [J1] **D. Zordan**, B. Martinez, I. Vilajosana and M. Rossi, "On the Performance of Lossy Compression Schemes for Energy Constrained Sensor Networking", submitted to ACM Transactions on Sensor Networks.

#### **Elenco pubblicazioni su convegno internazionale**

- [C1] M. Miozzo, **D. Zordan**, P. Dini and M. Rossi, "SolarStat: Modeling Photovoltaic Sources through Stochastic Markov Processes", submitted to IEEE International Energy Conference (EnergyCon), May 2014, Dubrovnik, Croatia
- [C2] **D. Zordan**, G. Quer, M. Zorzi and Michele Rossi, "Modeling and Generation of Space-Time Correlated Signals for Sensor Network Fields", in Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), December 2010, Houston, TX, US.

- [C3] G. Quer, **D. Zordan**, R. Masiero, M. Zorzi and M. Rossi, WSN-Control: Signal Reconstruction through Compressive Sensing in Wireless Sensor Networks, IEEE International Workshop on Practical Issues in Building Sensor Network Applications (SenseApp) 2010. Denver, Colorado, 11-14 October, 2010.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **ZORDAN Davide** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **ARTICO Fausto** nell'ambito del XXV ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012 il dottor **ARTICO Fausto** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXV ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

### **Il candidato dichiara quanto segue:**

#### Parte 1 Didattica

Corsi seguiti: Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer, ore 16, crediti 4; Bioelectromagnetics, Prof. T. A. Minelli, ore 12, crediti 3; Dose, Effect and Threshold, Prof. A. Trevisan, ore 12, crediti 3; Project Management, Prof. L. Vangelista, ore 16, crediti 4; Statistical Methods, Prof. L. Finesso, ore 24, crediti 6. Totale ore in corsi: 80. Totale crediti corsi 20. Limite minimo di ore e crediti rispettato.

Seminari: Serie di Seminari a UCI, Autunno 2011-2012 ed Inverno 2011-2012. I seminari venivano dati con cadenza settimanale. Alcuni dei seminari: during Winter 2012 always Cool Systems Research @ UCI: Making a Billion Users Happier and Safer, Secure Biometric Computation and Outsourcing, Opportunities and Challenges in Networking Named Data, Ice Sheet System Model: towards improving projections of future sea level rise, Jam me if you can: Mitigating the Impact of Inside Jammers.

Permanenze all'estero: 22 Agosto 2010 – 30 Marzo 2011 e 01 Settembre 2011 – 30 Marzo 2012 presso UCI (Università di California Irvine).

#### Parte 2 Ricerca

La tesi e' basata sullo studio di Nvidia GPUs con architettura GF100. Il codice del compilatore, la real instruction set architecture e diversi dettagli hardware e comportamentali dell'architettura GF100 non sono rilasciati da Nvidia. Il livello piu' basso che un utente puo' usare per scrivere codice e' ptx, un pseudo assembly virtuale privo della garanzia di una accurata corrispondenza con il vero assembly usato dall'architettura.

I principali obbiettivi della tesi sono stati: 1) rovesciare la real instruction set architecture, 2) sviluppare procedure per essere in grado di implementare in assembly qualsiasi tipo di algoritmo desiderato, 3) scoprire, comprendere e quantificare gli aspetti hardware e comportamentali dell'architettura GF100 che influenzano il tempo di esecuzione dei codici assembly e 4) fornire una procedura di analisi dei codici assembly dove, considerando quanto scoperto in 3), si determina a priori se il codice verra' eseguito nel minor tempo possibile o se e' necessario modificarlo e se si, come, per raggiungere tale obiettivo.

Grazie al reverse engineering e all'analisi e comprensione delle strutture dei fatbin file prodotti dal compilatore e contenenti i codici assembly eseguiti dalla GPU e' ora possibile implementare in assembly qualsiasi algoritmo ottenendo il completo controllo sul numero, ordine, tipo e posizione delle istruzioni e dei registri da utilizzare, cosa che rende possibile studiare accuratamente il comportamento delle GPU e le performance dei codici - in letteratura questo non avviene perche' chiunque parte dall'assunzione che il codice a basso livello rispecchia fedelmente il codice ad alto livello, cosa che noi abbiamo scoperto essere non vera perche' il numero, ordine, tipo e posizione delle istruzioni e dei registri di un codice assembly e' sempre molto differente dal numero, ordine, tipo e posizione delle istruzioni e dei registri del codice ad alto livello dato in input al compilatore per produrre il codice assembly.

La scoperta, comprensione e quantificazione degli aspetti hardware e comportamentali dell'architettura GF100 ha permesso di capire che le configurazioni di lancio – numero di thread e loro disposizione logica – insieme alle strutture dei codici assembly influenzano i tempi di esecuzione del codice assembly. Perche' gli aspetti sono al di fuori del controllo dell'utente, con i dati raccolti si e' quindi sviluppata una serie di linee guida da utilizzare durante la creazione e la stesura dei codici al fine di rendere la loro esecuzione non influenzata da aspetti differenti da quello della potenza computazionale della GPU.

Grazie all'analisi della struttura dei codici, alle risorse hardware richieste per la loro esecuzione e ai dati raccolti riguardo gli aspetti hardware e comportamentali dell'architettura GF100 si possono determinare le configurazioni di lancio idonee a rendere l'esecuzione di un codice assembly non limitata da aspetti differenti da quello della potenza computazionale della GPU e si sono ottenute informazioni su come modificare il codice, se necessario e se possibile, e su come accoppiare il codice modificato ad altre configurazioni di lancio, determinate con la ripetizione dell'analisi, per far si che il suo tempo di esecuzione sia limitato solo dalla potenza computazionale della GPU.

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore: “Performance optimization of GPU elf-codes”, Supervisore Gianfranco Bilardi.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **ARTICO Fausto** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **DANIELETTO Matteo** nell'ambito del XXV ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012 il dottor **DANIELETTO Matteo** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXV ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

## **Parte 1 Didattica**

### **Corsi seguiti:**

- primo anno:
  - Applied Linear Algebra (prof. T. Wimmer e prof. H. Damm);
  - Statistical Methods (prof. A. Finesso);
  - Game Theory (prof. L. Badia);
  - Satellite Navigation System (prof. O. Pozzobon e prof. L. Vangelista);
  - Project Management (prof. L. Vangelista).

Totale di 24 crediti / 96 ore di lezione

- Secondo anno
  - Scientific Computing in Data Analysis

### **Partecipazione a scuole nazionali e internazionali per dottorandi:**

- International Summer School in Pattern Recognition (ISSPR) in Plymouth (UK) dal 4 Settembre 2011 al 09 Settembre 2011

### **Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:**

- Distinguished Lecture “Omnidirectional vision: from calibration to robot motion estimation”, Dr. Scaramuzza Davide from ETH Zurich, Autonomous Systems Lab, Zurich, Switzerland. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 28 Febbraio 2010;
- Distinguished Lecture “An Overview on F-Lipschitz Optimization with Wireless Networks Applications”, Dr. Fischione Carlo from Electrical Engineering KTH Royal Institute of Technology, Sweden. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 21 Luglio 2010;
- Distinguished Lecture “Bias Correction in Localization Algorithms”, Prof. Alex Ji from Australian National University, Canberra, Australia. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 31 Agosto 2010;

- Distinguished Lecture “Nonlinear Filtering -- Unscented Kalman filtering with SVD”, Torhu Katayama, Kyoto University, Japan. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 6 Settembre 2010;
- Seminario “Ontology-Based Information Systems” Prof. Ian Horrocks from Oxford University Computing Laboratory. Tenutasi presso Politecnico di Milano il 14 Ottobre 2010.
- Distinguished Lecture “My Lyfe in Silicon Valley” Dr. Federico Faggin. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 07 Giugno 2011;
- Distinguished Lecture “From Italy to China on driverless cars: paving the road to autonomous driving” Dr. Alberto Broggi from Università di Parma , Parma, Italy. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 16 Aprile 2012;
- Distinguished Lecture “Social networks – models, methods and analysis” Dr. Prabhakar Raghavan from Google , Mountain View, CA, US. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 10 Settembre 2012;
- Distinguished Lecture “La scienza della conservazione per i beni culturali: il ruolo dell'information technology” Dr. Maurizio Seracini from University of California San Diego , San Diego, CA, US. Tenutasi presso Dipartimento Ingegneria dell'Informazione il 14 Ottobre 2013;
- “Signet meetings”, ciclo di seminari settimanali in cui vengono trattati argomenti relativi a Underwater Communications, Wireless Sensor Networks e Wireless Communications, Università di Padova (DEI) 2010-2013
- Italian Networking in Cavalese (TN) Gennaio 2011

#### **Partecipazione a Conferenze Internazionali:**

- ISSPR 2011, presentazione del lavoro del secondo anno di dottorato durante la poster session della Summer School tenutasi presso l'Università di Plymouth (UK)
- PERCOM 2012, presentazione del lavoro pubblicato a PerSens workshop di PERCOM 2012. La conferenza si è tenuta presso città di Lugano, Svizzera in data 19-23 Marzo 2012.
- MILCOM 2013 presentazione pubblicato nella medesima conferenza. La conferenza si è tenuta presso San Diego, CA, US in data 18-20 Novembre

#### **Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori):**

- (32 ore) assistenza in laboratorio: Laboratorio di reti e protocolli e quattro ore di didattica frontale

**Permanenza all'estero:**

- Ottobre 2012-Aprile 2013 presso University of California San Diego, Qualcomm Research Center

**Parte 2 Ricerca**

**Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato:**

L'attività di ricerca svolta durante il periodo di dottorato copre diverse aree dell'Information Technology. Il tema principale sono state le Wireless Sensor Network applicate a Internet of Things-Architecture (IoT-A) e Robotica; in parallelo si sono studiati algoritmi di autenticazione per Global Navigation Satellite System e da ultimo sono stati fatti studi pratico-teorici per l'implementazione di un Cognitive Network testbed presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.

Il primo argomento dell'attività di ricerca riguarda IoT-A. Questo tema è molto ampio e negli ultimi anni il mondo della ricerca, sia pubblica sia privata, vi sta investendo molto tempo e denaro. L'obiettivo di Internet of Things (IoT) è di collegare qualsiasi oggetto fisico naturale o artificiale alla rete Internet per sfruttare le possibili abilità in possesso dell'oggetto.

Il collegamento tra un oggetto e il mondo virtuale si realizza applicando ad ogni oggetto da digitalizzare uno o più dispositivi di tipo RFID, nodi di tipo Wireless Sensor Network (WSN), PDA, telefoni mobili ed altri dispositivi con diverse capacità di comunicazione. Uno dei problemi di IoT consiste nell'enorme mole di dati raccolti non analizzati approfonditamente dall'elaboratore, poiché privi di contenuto semantico per la macchina. Per ovviare a tale problematica, ci si è inoltrati nel campo del Semantic Web, che associa a particolari dati un metadata specifico per rendere il dato interpretabile dall'elaboratore e per estrarre nuovo contenuto informativo attraverso alcune tecniche di intelligenza artificiale. Inizialmente, si è trattato di un lavoro di ricognizione dello stato dell'arte delle ontologie, per poi adattarle ai nostri scopi. La creazione dell'ontologia ha portato allo studio di diversi linguaggi visti come una matryoska di linguaggi come XML, Resource Description Framework (RDF) e Ontology Web Language (OWL) per rendere l'ontologia interpretabile da appositi programmi, chiamati reasoner.

In seguito, ci si è focalizzati sull'associare ai dati raccolti da una rete di sensori una o più ontologie per l'interpretazione dei dati, al fine di estrarre particolari eventi che il singolo dato fornito dal sensore non riuscirebbe a fornire. Progettata e realizzata l'ontologia, si è potuto simulare una raccolta di dati forniti da una WSN e interpretati da un programma capace di manipolare l'ontologia con lo scopo di individuare situazioni di pericolo all'interno dell'ambiente monitorato dalla WSN.

In una fase successiva, si è partiti dalla considerazione che il concetto di nodo sensore fisico fosse superato e, quindi, si è introdotto il concetto di nodo logico, composto da dispositivi eterogenei tra loro, non necessariamente installati in quello comunicante con il nodo collettore predisposto a raccogliere i dati e trattare il segnale. Perciò, ci si è concentrati su tematiche di signal processing e data mining, come compressione, catalogazione e predizione di porzioni di segnale in funzione dei dati raccolti nel passato. Questa tipologia di segnali estratti da sensori è comunemente definita “time-series” ed ogni campione rappresenta un valore della grandezza fisica ad un determinato istante temporale. Questa fase di ricerca si è posta come obiettivo la possibilità di trattare segnali che inizialmente possono essere non noti al sistema, poiché la tipologia del sensore a disposizione per leggere la grandezza fisica può essere sconosciuta. Per risolvere tale problema, la serie di dati sconosciuta può essere accostata a una classe di segnali che il sistema ha già individuato e imparato a trattare (classificazione dei segnali).

Una rete di sensori con lo scopo di monitorare una o più grandezze fisiche dell'ambiente si scontra con uno dei principali vincoli di una WSN, ossia il consumo energetico. In un nodo sensore standard la parte elettronica che comporta il maggiore consumo è la circuiteria radio; questo denota la realizzazione e/o utilizzo di tecniche che facciano uso della radio per il minore tempo possibile, ma d'altra parte si desidera che il sistema possa monitorare con efficienza l'evoluzione delle grandezze fisiche senza perdite d'informazioni sensibili, come eventi anomali.

Questo vincolo nell'utilizzo della radio ha portato a realizzare tecniche di estrazione d'insiemi di motivi salienti del segnale, denominate Motif; ogni Motif è una sequenza continua di campioni che possiede un alto grado di descrizione del segnale.

Al paradigma che utilizza le Motif si è assegnato il nome RAZOR derivante dal noto rasoio di Occam, che, parafrasando, recita: “è inutile fare modelli matematici complessi se poi non si possono utilizzare per lo scopo per il quale sono stati pensati”

Si è perseguita un'impostazione di ricerca e studio di possibili limiti presenti nella teoria dell'informazione, basata su entropia congiunta e condizionata da applicare alla parte di compressione del segnale. Contemporaneamente, questa attività più teorica ha portato anche all'approfondimento ed alla realizzazione di sistemi noti per codifica aritmetica e probabilistica, poi utilizzati per la validazione del segnale. Tuttavia, un esame approfondito dell'entropia, applicata al nostro caso, non ha condotto a buoni risultati, poiché la quantità di memoria e il tempo computazionale aumentavano esponenzialmente all'aumentare della lunghezza delle parole di dizionario utilizzate per la codifica del segnale estratte da RAZOR.

Per la validazione di RAZOR, si sono utilizzati sia segnali sintetici creati con un apposito modello realizzato da un altro dottorando del gruppo di ricerca del SIGNET, sia segnali raccolti da una rete di sensori disposta all'interno di una scuola per misurare le seguenti grandezze fisiche: temperatura, umidità e luce, che, combinati tra di loro, forniscono l'indice di comfort.

Essendo la compressione una caratteristica principale di RAZOR, si è deciso di compararlo con i più noti compressori per WSN presenti in letteratura. Perciò, è stato comparato con LTC e DTC, due sistemi di codifica con perdita d'informazione, e LEC, sistema di codifica senza perdita. LTC e LEC sono noti per essere stati sviluppati appositamente per reti di sensori. Una seconda caratteristica di RAZOR che lo contraddistingue da tutti gli altri compressori presenti in letteratura è la sua capacità di classificazione. Si è deciso di confrontare RAZOR con EMMA, pensato da alcuni ricercatori dell'Università della California Riverside, basato su codifica a dizionario simile alle Motif e con un sistema della misura di distorsione del tutto nuovo.

Il confronto con tutte le tecniche menzionate precedentemente non si è basato solamente sulla compressione e classificazione, ma anche sul consumo di memoria e energia necessari per inviare i dati compressi. Quest'ultimo parametro può inficiare il tempo di vita della rete di sensori, perché ormai il consumo energetico della radio per l'invio dei dati è decisamente limitato se paragonato con il numero di operazioni, e conseguente consumo energetico, necessarie per la compressione del segnale. Ai fini pratici sarebbe alquanto controproducente fornire un sistema di codifica del segnale che consumi di più rispetto all'invio del segnale non compresso; questo vanificherebbe il motivo principale dell'implementazione della compressione. Sempre nell'ambito delle WSN, questa volta applicato al campo della robotica, ci si è focalizzati sull'estrazione delle misure di RSSI più affidabili da nodi sensore, TmoteSky, in modo da rendere la loro localizzazione all'interno di ambienti indoor/outdoor con bassi valori d'incertezza rispetto alla loro posizione reale per poi essere sfruttato questo tipo d'informazione da robot autonomi. Eseguendo diverse campagne di misura in ambiente sia indoor, sia outdoor, si è potuto constatare come la misura di RSSI venga irrobustita variando il canale di trasmissione radio durante la raccolta di campioni di RSSI, così da riscontrare un'attenuazione del fenomeno del multipath con conseguente miglioramento della stima della distanza oggetto-robot.

Questa fase di ricerca è stata coadiuvata da un collaboratore del SIGNET con affermata esperienza nell'utilizzo di RSSI per la localizzazione.

Oltre a questi due filoni di ricerca principali, durante il primo anno di dottorato è stato creato, insieme ad altri due colleghi del corso Global Navigation Satellite System, un programma software per la creazione di segnale GPS. Il segnale GPS simulato è stato validato da un ricevitore software presente in letteratura. Questo ha portato alla realizzazione di un possibile sistema di autenticazione del segnale GPS e del futuro Galileo.

Voci vicine al consorzio GPS sembrano confermare la bontà della tecnica e una futura implementazione all'interno della costellazione GPS.

Infine, l'ultimo filone di ricerca mi ha portato alla realizzazione presso il Dipartimento d'Ingegneria dell'Informazione di un testbed basato sul paradigma Cognitive Networking (CN). Questo paradigma prevede la possibilità di estrarre il maggior numero

d'informazioni dallo stack protocollare TCP/IP con l'obiettivo di modificare in maniera intelligente i parametri allo scopo di ottimizzare le prestazioni della rete.

La realizzazione di un testbed CN rappresenta un'ottima opportunità per implementare tutti quei protocolli che sono stati sviluppati con simulatori di rete come NS, ma che hanno bisogno di una validazione in testbed reali che non sempre sono di facile fruibilità.

Un secondo obiettivo nella realizzazione del CN testbed è l'utilizzo di dispositivi già disponibili nel mercato elettronico di massa con la prerogativa di essere poco costosi e di avere tutte le caratteristiche necessarie per implementare un CN testbed. Perciò, un dispositivo può far parte del testbed quando molti parametri sono almeno osservabili e quelli che influiscono maggiormente sulle prestazioni della rete devono essere anche configurabili.

Per questo motivo, la scelta è ricaduta su dispositivi basati su sistema operativo Android perché poco costosi rispetto a dispositivi realizzati ad hoc per il CN; una caratteristica che li contraddistingue da altri dispositivi della stessa categoria è di avere il sistema operativo altamente modificabile. Quest'ultimo vantaggio ci aiuta a superare il problema principale di utilizzare dispositivi commerciali, ossia l'impossibilità di modificare l'hardware interno dei dispositivi. In alcuni punti chiave è stato modificato il sistema operativo per abilitare le funzionalità che permettono di utilizzare nuove interfacce WiFi esterne. In questo modo, il software sviluppato è indipendente dal dispositivo su cui è installato e rappresenta l'ossatura di tutto il testbed, coprendo due macro aree. CognetNode è il software sviluppato per i nodi del CN capace di estrarre i parametri e modificarli, mentre CognetManager è il software di controllo remoto di tutti i nodi presenti nella rete.

A livello hardware lo stato attuale del testbed è in fase embrionale perché sono presenti pochi dispositivi mobili Android utilizzati solo per uno studio di fattibilità. E' anche stata riutilizzata l'intera architettura hardware di controllo del Wireless Sensor Network testbed per avere un'infrastruttura di rete sempre attiva e utilizzabile anche dall'esterno. Ciò che maggiormente differenzia il nostro testbed rispetto a quelli presenti nel panorama mondiale dei CN testbed accademici è che si basa principalmente su dispositivi mobili; questo rappresenta un'importante caratteristica per testare i protocolli di rete in un ambiente fortemente dinamico.

**Supervisore:** prof. Michele Zorzi

**Titolo:** Design and Evaluation of Compression, Classification and Localization schemes for various IoT applications

### **Parte 3 Pubblicazioni**

#### **Elenco pubblicazioni su convegno internazionale:**

1. "Recognition of smart objects by a mobile robot using SIFT-based image recognition and wireless communication". M. Danieletto, M. Mina, A. Zanella, P.

- Zanuttigh and E. Menegatti. In Proceedings of the European Conference on Mobile Robots (ECMR 2009), Mlini/Dubrovnik, Croazia, September 2009.
2. "Discovery, localization, and recognition of smart objects by a mobile robot". E. Menegatti M. Danieletto, M. Mina, A. Pretto, A. Bardella, A. Zanella, P. Zanuttigh. 2nd International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN 2010), Darmstadt, Germania, November 2010.
  3. "Autonomous discovery, localization and recognition of smart objects through WSN and image features". E. Menegatti, M. Danieletto, M. Mina, A. Pretto, A. Bardella, P. Zanuttigh, A. Zanella. IEEE International Workshop Towards Smart Communications and Network technologies applied on Autonomous Systems (SaCoNAS 2010), Miami, USA, December 2010 (Best Paper Award)
  4. "Anti-spoofing and open GNSS signal authentication with signal authentication sequences". O. Pozzobon, L. Canzian, M. Danieletto, A. Dalla Chiara. IEEE International 5th ESA Workshop Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC), Noordwijk, Olanda, December 2010
  5. "An Ontology-Based Framework for Autonomic Classification in the Internet of Things". M. Danieletto, N. Bui, M. Zorzi. IEEE International Conference Communication (ICC) Workshop on Embedding the Real World into the Future Internet, Kyoto, Japan, June 2011
  6. "Improving Internet of Thing Communications through Compression and Classification". M. Danieletto, N. Bui, M. Zorzi. IEEE International Workshop on Sensor Networks and Systems for Pervasive Computing, Lugano, Svizzera, Marzo, 2012
  7. "On the Exploitation of the Android OS for the Design of a Wireless Mesh Network Testbed". M. Danieletto, G. Quer, M. Zorzi, R. R. Rao. Proc. Of: Military Communication 2013 (MILCOM 2013), November 2013. (Travel Grant Award)

### **Elenco pubblicazioni su rivista internazionale:**

1. "Autonomous robot exploration in smart environments exploiting wireless sensors and visual features". A. Bardella, M. Danieletto, E. Menegatti, A. Zanella, A. Pretto, P. Zanuttigh. Annals of telecommunications, Vol. 67, No 7-8, July-August 2012
2. "RAZOR: A compression and Classification Solution for the Internet of Things", MDPI Sensor Network, Accepted

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **DANIELETTO Matteo** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **MILANI Emanuele** nell'ambito del XXV ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

Negli anni accademici 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012 il dottor **MILANI Emanuele** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXV ciclo, Indirizzo Scienza e tecnologia dell'informazione.

**Il candidato dichiara quanto segue:**

Parte 1 Didattica

Corsi seguiti: Applied Linear Algebra, Statistical Methods, Algoritmi di Approssimazione, Design Patterns in Software Development, Learning with Structural Kernels: from Theory to Practice.

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

Partecipazione a convegni o workshop

07/2010: Primo Workshop Progetto Strategico di Ateneo "Algorithms and Architectures for computational Science and Engineering" (AACSE), Università di Padova.

06/2011: Secondo Workshop Progetto Strategico di Ateneo "Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering" (AACSE), Università di Padova;

08/2012 MADALGO Summer School on Algorithms for Modern Parallel and Distributed Models, Aarhus University, Denmark.

Partecipazione a Conferenze Nazionali

09/2010: Scalable Approaches to High Performance and High Productivity Computing (Scalperf, 2010), Bertinoro, Italia.

09/2011: The Potential of the GPU Approach to Computation (Scalperf, 2011).

Bertinoro, Italia.

09/2012: 13th Italian Conference on Theoretical Computer Science (ICTCS 2012), Varese, Italia.

Didattica attiva

Laboratorio di Reti di Calcolatori (prof. Bertasi Paolo, 2010)

Laboratorio di Calcolo Parallelo (prof. Bilardi Gianfranco, aa. 2011 e 2012)

## Parte 2 Ricerca

La ricerca si svolge nell'ambito delle limiting technology machines. In questi modelli si presuppone che non sia possibile migliorare una macchina attraverso miglioramenti tecnologici, per cui l'aumento della potenza di calcolo e' ottenibile solo mediante un aumento di dimensioni, e in particolare mediante l'aggiunta di moduli di taglia indipendente da quella della macchina stessa.

La ricerca ha seguito due filoni, il primo riguardante macchine sequenziali, il secondo macchine parallele.

Per quanto riguarda l'ambito sequenziale, l'attivita' si e' focalizzata sullo studio di algoritmi e programmi efficienti per i modelli SP ed SPE. Questi modelli sono un esempio di limiting technology machine, in quanto evidenziano una struttura modulare, in cui i singoli moduli hanno taglia indipendente dalla taglia della macchina, sono blandamente sincronizzati, e in cui le interconnessioni esistono solo tra moduli adiacenti.

Oltre a cio', affrontano anche il problema della non scalabilita' del modello RAM, dovuta al fatto che e' impossibile aumentare la capacita' di una memoria fisica senza aumentarne la latenza. Ricordiamo che nel modello RAM, la complessita' e' esclusivamente dovuta al numero di operazioni eseguite.

SP ed SPE si confrontano quindi anche con modelli quali disk model, HMM, BT-RAM, nati pero' dal tentativo di catturare i complessi sistemi gerarchici di memoria delle macchine moderne.

Per quanto riguarda la riduzione dell'impatto delle latenze, il sistema di memoria di SP e SPE, oltre che essere gerarchico, e' pipelined, e consente cosi' di sfruttare, oltre che la localita', anche la concorrenza tra differenti accessi.

Inoltre, la struttura a linear array dei processori di SP e SPE permette di soddisfare le functional dependence tra istruzioni senza passare per la memoria, propagando i dati in maniera sistolica nell'unita' di esecuzione (internal forwarding). Vengono cosi' eliminati del tutto alcuni accessi, e le relative latenze.

Un contributo in questo filone e' stato la dimostrazione che e' possibile sfruttare algoritmi per il Work-Time framework, e quindi pensati per le PRAM, per riorganizzare gli accessi di un programma sequenziale in modo da aumentarne la concorrenza.

Piu' precisamente, e' stato realizzato un metodo generale per tradurre il costrutto "pardo" (parallel do) in un ciclo sequenziale i cui accessi in memoria siano indipendenti gli uni dagli altri o al piu' siano legati da functional dependence.

A questo scopo, sono state sfruttate sia la natura gerarchica e pipelined del sistema di memoria, sia il meccanismo di internal forwarding.

Inoltre, e' stato fatto ricorso al disaccoppiamento tra il programma vero e proprio, la lista di istruzioni in memoria, e il flusso di istruzioni che viene effettivamente somministrato all'unita' di esecuzione.

In particolare, per SPE, e' stato possibile realizzare programmi con un numero di istruzioni proporzionale a quello dell'algoritmo parallelo di partenza.

Al contrario, per SP, a causa del suo metodo di esecuzione meno piu' conservativo, i programmi risultano piu' lunghi di un fattore dipendente dalla taglia del SP. In ogni caso,

le latenze aggiuntive dovute al caricamento delle istruzioni non sono determinanti per la complessità totale.

Sono anche state identificate le condizioni per ottenere programmi con tempi di esecuzione ottimali, pari cioè alle complessità sul modello RAM.

La diretta applicazione del metodo ha portato ad ottenere soluzioni ottime per molti problemi, tra cui il merge di liste ordinate. Per quest'ultimo, in particolare, la migliore soluzione precedente aveva complessità più che lineare.

Oltre a questo metodo, è stato ricavato un lower bound stretto per il problema del search su un array ordinato. Il bound è interessante in quanto prova l'impossibilità di ottenere la complessità del modello RAM su una macchina con memorie gerarchiche.

Il secondo filone di ricerca estende l'indagine sulle potenzialità delle limiting technology machines abbandonando il vincolo dell'esecuzione sequenziale.

Per il processore è stato scelto un layout a mesh, sempre con moduli di taglia indipendente dalla taglia della macchina e connessioni near neighbor.

Lo studio si è focalizzato su quanto e come sia possibile estrarre parallelismo da un dato flusso di istruzioni. Anche in questo contesto, come in quello sequenziale, i limiti alle prestazioni raggiungibili sono dovuti alle dipendenze tra istruzioni. Tuttavia, l'effetto è più rilevante, in quanto le dipendenze impongono sequenzialità all'esecuzione. Questo fenomeno è rilevante anche nel caso si considerino solo functional dependence, cioè flussi di istruzioni modellabili con CDAG. Sono stati infatti derivati due lower bound essenziali, basati sul rapporto tra lunghezza del cammino critico e numero di istruzioni del flusso.

Sempre a partire dalla rappresentazione CDAG, è stato introdotto il concetto di schedule, come partizionamento del flusso di istruzioni, tale che le dipendenze inducono un ordinamento totale tra le partizioni, e non esistono dipendenze all'interno di una singola partizione.

Sono state proposte strategie di esecuzione basate sull'ipotesi di conoscere una schedule. Queste hanno evidenziato che per ottenere buone performance, è necessario che la schedule abbia poche partizioni, e preferibilmente di taglie sbilanciate.

Successivamente, è stato dimostrato che il calcolo di schedule è difficile quanto l'esecuzione vera e propria, in quanto valgono gli stessi lower bound.

Per questo, oltre a procedimenti deterministici, sono stati analizzati anche metodi approssimati, e l'impatto dell'approssimazione sull'esecuzione vera e propria.

Infine, sono stati proposti e analizzati metodi di esecuzione che non si affidano a una schedule precalcolata.

Titolo definitivo della tesi: "Efficient execution of sequential instruction streams by physical machines."

Supervisore: Bilardi Gianfranco

Parte 3 Pubblicazioni

E. Milani, N. Zago, "Exploiting Fine Grained Parallelism on the SPE", ICTCS 2012, Varese, Italia.

**Il Collegio prende atto di quanto esposto e osserva che** durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **MILANI Emanuele** si è impegnato con dedizione e profitto nella sua attività di ricerca e di studio, evidenziando un'ottima capacità di lavorare sia in maniera autonoma che all'interno di un gruppo di ricerca. Il Collegio unanime riconosce la notevole assiduità del candidato, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

**Pertanto il collegio lo ammette all'esame finale.**

## 5. Pratiche studenti

### *Mobilità*

Il dott. Riccardo Bonetto, XXVII ciclo, indirizzo ICT, chiede l'autorizzazione a trascorrere il periodo gennaio-giugno 2014 presso KTH, Stoccolma, Svezia, per studio e ricerca su "SMART MICRO GRIDS", sotto la supervisione del Prof. Carlo Fischione.

Il Collegio approva.

Il dott. Lorenzo De Stefani, XXVIII ciclo, indirizzo ICT, chiede l'autorizzazione a trascorrere il periodo febbraio-marzo 2014 presso Brown University, Department of Computer Science, Providence, RI, per studio e ricerca su "Teoria delle Reti ed Algoritmica su Grafi", sotto la supervisione del Prof. Eli Upfal.

Il Collegio approva.

Il dott. Francesco Peruch, XXVII ciclo, indirizzo ICT, chiede l'autorizzazione a trascorrere il periodo gennaio-aprile 2014 presso Imimtek Inc., Palo Alto, California, USA, per studio e ricerca su "Visione computazionale per dispositivi mobili Android", sotto la supervisione del Prof. Abbas Rafii.

Il Collegio approva.

## 6. Programmazione didattica 2014

Il Vicedirettore illustra al collegio il [catalogo dei corsi per l'anno 2014](#). Il Catalogo 2014, organizzato dal Prof. Augusto Ferrante, è composto da 16 corsi (Allegato 6.1). Si ricorda che i dottorandi potranno inoltre scegliere corsi dal Catalogo 2014 della Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze Matematiche, ancora in via di definizione.

Fatte salve le istanze di revisione espresse e il mandato al Direttore e al Consiglio Direttivo ad applicare eventuali correzioni, il Collegio approva la programmazione didattica 2014.

Ai dottorandi verrà richiesto di completare gli studi acquisendo almeno 20 crediti (un credito attribuito in proporzione a quattro ore di lezione) totali scegliendo corsi dal catalogo della scuola che comprendano almeno **uno** tra i seguenti corsi:

- Applied functional analysis
- Applied linear algebra
- Statistical methods

Il Collegio, dopo discussione, approva.

Il Collegio approva il verbale.

Il Segretario

Il Vicedirettore della Scuola