

Verbale della riunione del Collegio dei docenti della Scuola di dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazione del **13 DICEMBRE 2011 ore 14.15.**

La riunione, convocata con posta elettronica del 28 novembre 2011 (All. 1a) e successivamente riconvocata per uno spostamento di orario (All. 1b), si è tenuta nell'Aula Magna "Antonio Lepschy" DEI/A, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.

**Presenti:**

Federico Avanzini, Nevio Benvenuto, Matteo Bertocco, Alessandra Bertoldo, Giancarlo Calvagno, Antonio D. Capobianco, Angelo Cenedese, Andrea Cester, Claudio Cobelli, Giovanni De Poli, Andrea Galtarossa, Enrico Grisan, Gaudenzio Meneghesso, Andrea Neviani, Enrico Pagello, Luca Palmieri, Geppino Pucci, Silvano Pupolin, Alfredo Ruggeri, Maria Pia Saccomani, Giovanni Sparacino, Giorgio Spiazzi, Andrea Trevisan, Lorenzo Vangelista, Stefano Vassanelli, Michele Zorzi, dottorando: Matteo Danieletto.

**Assenti giustificati:**

Alessandro Beghi, Matthieu Block, Simone Buso, Chiara Dalla Man, Tobias Damm, Barbara Di Camillo, Concettina Guerra, Boris Kovatchev, Massimo Malaguti, Emanuele Menegatti, Tullio Minelli, Gianluca Nucci, Nicola Orio, Alessandro Paccagnella, Enoch Peserico, Giorgio Picci, Michele Rossi, Alexander Sergienko, Andrea Serrani, Gianna Toffolo, Federico Turkheimer, Paolo Villoresi, Harald Wimmer, Enrico Zanoni, dottorando: Giulio Bottegal.

**Assenti:**

Alberto Apostolico, Gianfranco Bilardi, Matteo Comin, Guido Maria Cortelazzo, Augusto Ferrante, Lorenzo Finesso, Paolo Guiotto, Nicola Laurenti, Gianluigi Pillonetto, Francesco Ticozzi, Sandro Zampieri.

**Ordine del giorno**

**ORDINE DEL GIORNO**

1. Comunicazioni
2. Pratiche studenti
3. Concorso di ammissione 27<sup>a</sup> ciclo
4. Commissioni esami finali XXIV ciclo - Ratifica
5. Valutazione annuale dei dottorandi
6. Ammissione dei dottorandi del primo e secondo anno all'anno di corso successivo
7. Valutazione dell'attività svolta dai dottorandi XXIV: ciclo ammissione all'esame finale
8. Programmazione didattica 2012

9. Richiesta di patrocinio per la Scuola estiva di Ingegneria dell'Informazione per l'anno 2012.
10. Rinnovo organi della Scuola

Presiede la riunione il Direttore Prof. Matteo Bertocco, svolge le funzioni di Segretario il Prof. Andrea Neviani.

Il Direttore porta all'approvazione del Collegio il verbale della seduta del Collegio del 17 maggio 2011.  
Il Collegio approva.

## 1. Comunicazioni

### Autorizzazioni dottorandi

Il direttore comunica al collegio che sono state approvate le seguenti richieste:

#### *Attività lavorativa*

dott. Matteo Canale 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 30/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Matteo Canale, 26<sup>^</sup> ciclo, a svolgere attività di ricerca sullo stesso tema del dottorato, per il periodo gennaio - luglio 2012, presso ID QUANTIQUE SA, Carouge, Geneva (Svizzera). Tale attività sarà regolamentata da un contratto di stage tra Matteo Canale e la ID QUANTIQUE SA.

dott. Alberto Dall'Arche 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 30/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Alberto Dall'Arche 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere attività di insegnante per un impegno settimanale di 15 ore dal 3 al 15 dicembre 2011 presso l'ITIS Severi di Padova.

dott. Matteo Danieletto 25<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 23/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott.ssa Silvia Del Din 24<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 30/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Carlo De Santi 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa legge 170, a svolgere il giorno 30/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott.ssa Annamaria Guiotto, 25<sup>^</sup> ciclo, senza borsa, a svolgere il giorno 01/12/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Francesco Micheletto 25<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 01/12/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Michele Schiavon 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 30/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Emanuele Trifoglio 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 23/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Mattia Veronese 25<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 23/11/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott.ssa Chiara Zecchin 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 01/12/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

dott. Davide Zordan 26<sup>^</sup> ciclo, titolare di borsa di Ateneo, a svolgere il giorno 01/12/2011, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, 2 ore di sorveglianza agli esami di stato, 2a sessione 2011.

*Modifica piano di studio*

dott. Michele Bonazza, 26<sup>^</sup> ciclo, a togliere “Dynamics over networks”, 5 CFU, e inserire “Information-theoretic methods in security”, 5 CFU.

dott. Michele Caruso, 26<sup>^</sup> ciclo,  
a togliere

- “EM waves in anisotropic Media”, 5 CFU
- “Applied functional analysis”, 7 CFU

e inserire

- “Bioelectromagnetics”, 3 CFU
- “Applied linear algebra”, 4 CFU
- “Game theory for information engineering”, 5 CFU.

dott. Marco Castellaro, 26<sup>^</sup> ciclo, a togliere “Stochastic (Ordinary and Partial) differential equations, 5 CFU, e di inserire “Dynamical models in systems biology, 4 CFU.

dott.ssa Giulia Cisotto, 26<sup>^</sup> ciclo, a togliere “Applied functional analysis”, 7 CFU e inserire “Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices”, 5 CFU.

dott.ssa Chiara Masiero, 26<sup>^</sup> ciclo, a inserire “Dynamics over networks”, 5 CFU.

dott. Francesco Simmini, 26<sup>^</sup> ciclo a togliere “Adaptive control”, 5 CFU, e inserire “Applied functional analysis”, 7 CFU.

dott. Emanuele Trifoglio 26<sup>^</sup> ciclo, a togliere “Algorithms for bioinformatics and computational biology”, 5 CFU e inserire “Algebraic tools for the identifiability of dinamica systems”, 4 CFU.

dott.ssa Chiara Zecchin 26<sup>^</sup> ciclo, a togliere “Applied functional analysis”, 7 CFU.

#### *Sostituzione supervisore*

dott. Michele Schiavon, 26<sup>^</sup> ciclo, a sostituire l'attuale supervisore Prof. Giovanni Sparacino con la Prof.ssa Chiara Dalla Man che ha accettato l'incarico.

#### *Tutor Junior*

i dottori: Federica Bogo 26<sup>^</sup> ciclo, Marco Castellaro 26<sup>^</sup> ciclo, Federica Eduati 25<sup>^</sup> ciclo, Stefania Guerra 24<sup>^</sup> ciclo, Anna Largajolli 25<sup>^</sup> ciclo, Fabio Maran 25<sup>^</sup> ciclo, Chiara Masiero 26<sup>^</sup> ciclo, Francesco Micheletto 25<sup>^</sup> ciclo, Emanuele Milani 25<sup>^</sup> ciclo, Sartori Elisa 25<sup>^</sup> ciclo, Michele Schiavon 26<sup>^</sup> ciclo, Michele Schimd 26<sup>^</sup> ciclo, Michele Scquizzato 24<sup>^</sup> ciclo, Emanuele Trifoglio 26<sup>^</sup> ciclo, Mattia Veronese 25<sup>^</sup> ciclo, Nicola Zago 26<sup>^</sup> ciclo, Mattia Zanon 25<sup>^</sup> ciclo, Chiara Zecchin 26<sup>^</sup> ciclo, a svolgere attività di Tutor Junior.

A questo proposto, avvalendosi del parere della Prof.ssa Bertani, responsabile del coordinamento dei Tutor Junior il Direttore chiarisce un aspetto riguardante dei tutori con l'attività di sorveglianza agli esami di stato contemporaneamente all'attività di tutor junior.

#### *Didattica di supporto*

dott. Dall'Arche Alberto 26<sup>^</sup> ciclo, a svolgere 12 ore di attività didattica di supporto al corso “Laboratorio di Fisica”, (previsto nel bando per vari corsi di laurea), a.a. 2011-2012, 2<sup>o</sup> semestre.

dott. Matteo Danieleto 25<sup>^</sup>, a svolgere 32 ore di attività didattica di supporto al corso “Laboratorio di reti e protocolli – Networking Lab”, corso di laurea magistrale Ingegneria delle telecomunicazioni, a.a. 2011-2012, 2<sup>o</sup> semestre, titolare del corso Prof. Michele Zorzi.

dott. Stefano Michieletto 26<sup>^</sup>, a svolgere 28 ore di attività didattica di supporto al corso "Architettura degli elaboratori", corso di laurea Ingegneria dell'Informazione, a.a. 2011-2012, 2° semestre, titolare del corso Prof. Emanuele Menegatti.

dott. Marco Mina 25<sup>^</sup>, a svolgere 12 ore di attività didattica di supporto al corso "Elaborazione di dati 3D", corso di laurea Ingegneria Informatica, a.a. 2011-2012, 2° semestre, titolare del corso Prof.ssa Concettina Guerra.

dott. Montecchio Nicola 24<sup>^</sup>, a svolgere 20 ore di attività didattica di supporto al corso "Fondamenti di informatica", corso di laurea in Comunicazione, a.a. 2011-2012, 1° semestre, titolare del corso Prof. Nicola Orio.

dott. Matteo Munaro 26<sup>^</sup>, a svolgere 28 ore di attività didattica di supporto al corso "Architettura degli elaboratori", corso di laurea Ingegneria dell'Informazione, a.a. 2011-2012, 2° semestre, titolare del corso Prof. Emanuele Menegatti.

dott. Francesco Simmini 26<sup>^</sup>, a svolgere 18 ore di attività didattica di supporto al corso "Fondamenti di controlli automatici", corso di laurea triennale Ingegneria Informatica, a.a. 2011-2012, 2° semestre, titolare del corso Prof. Alessandro Beghi.

dott.ssa Beatrice Tomasi 24<sup>^</sup>, a svolgere 12 ore di attività didattica di supporto al corso "Telecomunicazioni (canale 2)", corso di laurea Ingegneria dell'Informazione, a.a. 2011-2012, 1° semestre, titolare del corso Prof. Leonardo Badia.

dott.ssa Lara Tramontan 24<sup>^</sup>, a svolgere 10 ore di attività didattica di supporto al corso "Strumentazione biomedica", corso di laurea in Bioingegneria, a.a. 2011-2012, 1° semestre, titolare del corso Prof. Alfredo Ruggeri.

dott. Zennaro Davide 24<sup>^</sup>, a svolgere 12 ore di attività didattica di supporto al corso "Telecomunicazioni (canale 1)", corso di laurea Ingegneria dell'Informazione, a.a. 2011-2012, 1° semestre, titolare del corso Prof. Lorenzo Vangelista.

## 2. Pratiche studenti

Sono pervenute richieste di autorizzazione per:

### *Mobilità*

dott. Paolo Baracca, 25<sup>^</sup> ciclo, a prolungare il periodo di mobilità precedentemente autorizzato (settembre 2011-febbraio 2012, riunione CD del 27/09/2011) da marzo a giugno 2012, sempre presso ALTATEL-LUCENT, Bell Labs, Stoccarda (Germania), sotto la supervisione del prof. Volmer Braun, per studio su "Coordinated multi-point transmission".

Il Collegio approva.

dott. Matteo Canale, 26<sup>a</sup> ciclo, a trascorrere il periodo da gennaio a luglio 2012, presso ID QUANTIQUE SA, Carouge, Geneva (Svizzera), sotto la supervisione del prof. Damien Stucki, per attività di ricerca.

Il Collegio approva.

dott. Carlo Dal Mutto, 25<sup>a</sup> ciclo, a trascorrere il periodo da gennaio a dicembre 2012, presso Duke University, Durham, NC, USA, sotto la supervisione del prof. Carlo Tomasi, per attività di ricerca.

Il Collegio approva.

dott. Francesco Sichirollo, 25<sup>a</sup> ciclo, a trascorrere il periodo da novembre 2011 a maggio 2012 presso il "Departamento de Ingenieria Electrica , Electronica, de Computadores y Sistemas" dell'Università di Oviedo (Spagna), sotto la supervisione del Prof. J. Marcos Alonso, per "Ricerca di soluzioni innovative di conversione dell'energia per l'alimentazione di sistemi di illuminazione basati su tecnologia a stato solido".

Il Collegio approva.

dott. Gian Antonio Susto, 25<sup>a</sup> ciclo, a trascorrere il periodo da gennaio a agosto 2012 presso il "National University of Ireland", Maynooth, Irlanda, sotto la supervisione del Prof. Sean McLoone, per attività di ricerca su "Metodi statistici per l'industria manifatturiera di semiconduttori".

Il Collegio approva.

*Richiesta di autorizzazione alla stesura della tesi in lingua inglese – dottorandi 24<sup>a</sup> ciclo*

I dottori: Castellani Angelo Paolo, Costabeber Alessandro, Del Din Silvia, Guerra Stefania, Lovisari Enrico, Maso Marco, Montecchio Nicola, Pettarin Alberto, Rizzo Gaia, Rahman Mohammed Mostafizur, Ronchi Nicola, Sanavia Tiziana, Scquizzato Michele, Spagnol Simone, Squarcina Letizia, Stocco Antonio, Tapparello Cristiano, Tomasi Beatrice, Tramarin Federico, Tramontan Lara, Veronese Elisa, Verzotto Davide, Zennaro Davide.

Il collegio approva.

*Istanza di proroga della presentazione della tesi*

Sono pervenute dal Servizio Formazione alla Ricerca le istanze di proroga della presentazione della tesi dei dottori Angelo Castellani, 6 mesi, Marco Maso, 12 mesi. Michele Scquizzato, 12 mesi.

Il Collegio esprime parere favorevole alle istanze di proroga pervenute.

*Delega per maternità*

La prof.ssa Chiara Dalla Man il giorno 8 novembre ha iniziato il congedo obbligatorio per maternità.

Ha delegato Alessandra Bertoldo a sostituirla in qualità di supervisore per il passaggio all'esame finale di Silvia Del Din e Morten Pedersen a sostituirla in qualità di supervisore per il passaggio al terzo anno di Francesco Micheletto.

Il Direttore ha espresso parere favorevole alle sostituzioni e chiede al collegio di ratificare le approvazioni date per motivi di urgenza.

Il collegio ratifica.

#### *Richieste autorizzazione associazione*

Il dott. **Davide Cuccato** iscritto al 1° anno del 27<sup>^</sup> ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione, chiede l'autorizzazione all'associazione con l'Istituto di Fisica Nucleare (INFN) per 6 mesi-uomo nell'arco del triennio 2012-2014, per dedicarsi all'attività di ricerca nell'ambito dell'esperimento G-GRANSASSO (Misure di rotazione ad altissima sensibilità con tecnologia laser ad effetto Sagnac) al fine di approfondire tematiche utili per il proprio progetto di dottorato.

Il Prof. Alessandro Beghi, indicato dal dott. Cuccato come suo futuro supervisore, approva la richiesta. Il Direttore precisa che l'associazione non dovrà comportare vincoli di subordinazione nei confronti dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare per lo svolgimento dell'attività corrispondente o qualunque onere per la scuola di dottorato in ingegneria dell'informazione.

Dopo discussione il collegio approva.

*Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante*

Il dott. **Vasquez Stanescu Jesus Alejandro** iscritto al 1° anno del 27<sup>^</sup> ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione, chiede l'autorizzazione all'associazione con l'Istituto di Fisica Nucleare (INFN) per il periodo relativo al triennio di dottorato 2 gennaio 2012 – 31 dicembre 2014 presso Divisione Ricerca nell'ambito dell'esperimento: "Studio delle problematiche di funzionamento in tempo reale e di gestione di basi di dati distribuite nell'applicazione dell'architettura EPICS all'acceleratore di ioni SPES" al fine di sviluppare e approfondire tematiche utili per il proprio progetto di dottorato.

Il Prof. Matteo Bertocco, indicato dal dott. Cuccato come suo futuro supervisore, approva la richiesta. Il Direttore precisa che l'associazione non dovrà comportare vincoli di subordinazione nei confronti dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare per lo svolgimento dell'attività corrispondente o qualunque onere per la scuola di dottorato in ingegneria dell'informazione.

Dopo discussione il collegio approva.

*Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.*

### **3. Concorso di ammissione 27<sup>^</sup> ciclo**

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

Domande pervenute: 41

12 Indirizzo Bioingegneria  
29 Indirizzo ICT

Ai fini dell'ammissione alla scuola, la commissione inoltre, preso atto della documentazione presentata, ritiene che i candidati:

Saleem Muhammad Mubasher  
Soedirdjo Subaryani Dambawati Harjaya  
Vasquez Stanescu Jesus Alejandro

siano in possesso di titolo equipollente alla laurea magistrale o di altro titolo ritenuto idoneo all'iscrizione alla Scuola di dottorato.

Il direttore chiede al consiglio di ratifica tale dichiarazione già inviata al Servizio Formazione alla Ricerca.

Il consiglio ratifica.

#### **4. Commissioni esami finali XXIV ciclo - Ratifica**

Il Direttore chiede al consiglio di ratificare la composizione delle commissioni sotto indicate già inserite in CINECA:

##### **Commissione 1:** settore Bioingegneria

###### **Membri effettivi**

Giancarlo Ferrigno  
Dipartimento di Bioingegneria, Politecnico di Milano  
Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano  
Tel.: 02 2399 3371, Fax: 02 2399 3360, email: giancarlo.ferrigno@polimi.it

Maria Carla Gilardi  
Dipartimento di Scienze Chirurgiche,  
Facoltà di Medicina e Chirurgia,  
H San Raffaele, - Medicina Nucleare Settore C Piano – 2  
via Olgettina 60, 20132 Milano  
Tel.: 02 26432793, email: gilardi.mariacarla@hsr.it

Giovanni Magenes  
Dipartimento di Informatica e Sistemistica  
Via Ferrata 1, 27100 Pavia, Ufficio Laboratorio di Bioingegneria II - Piano C  
Tel.: 0382 985 515, email: giovanni.magenes@unipv.it

###### **Membri supplenti**



Andrea Caumo,  
Dipartimento di Scienze dello sport, nutrizione e salute  
Università degli Studi di Milano  
Via Kramer 4/A, 20129 Milano  
Tel.: 02 503 15150, Fax: 02 503 15163, email: andrea.caumo@unimi.it

Mauro Ursino  
DEIS-Dipartimento di Elettronica, Informatica, Sistemistica  
Università degli Studi di Bologna  
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna  
Tel.: 0547 339228, Fax: 051 20 9 3073, email: mauro.ursino@unibo.it

Tommaso D'Alessio  
Dipartimento di Elettronica applicata  
Università degli Studi Roma Tre  
Via della Vasca Navale 84, 00146 Roma  
Tel.: 06 5733 3266, Fax: 06 5733 7026, email: dalessio@uniroma3.it

### **Revisori**

Del Din Silvia: Prof. Ugo della Croce, Università degli studi di Sassari, Dipartimento di Scienze biomediche, email: dellacro@uniss.it

Guerra Stefania: Boris P. Kovatchev, Department of Psychiatry and Neurobehavioral Sciences, University of Virginia. Charlottesville, Virginia, United States, email: [bpk2u@virginia.edu](mailto:bpk2u@virginia.edu)

Rahman Mohammed Mostafizur, dr. Sergio Solinas, ricercatore presso Fondazione "Istituto Neurologico C. Mondino" – I.R.C.C.S. e Università di Pavia, email: [sergio.solinas@unipv.it](mailto:sergio.solinas@unipv.it)

Rizzo Gaia: Prof. Alexander Hammers, The Neurodis Foundation (Fondation Neurodis), Lyon, France, e-mail: [alexander.hammers@fondation-neurodis.org](mailto:alexander.hammers@fondation-neurodis.org)

Sanavia Tiziana: Dott.ssa Annalisa Barla, DISI – Dipartimento di Informatica e Scienze dell'Informazione, email: [annalisa.barla@unige.it](mailto:annalisa.barla@unige.it)

Squarcina Letizia: Ing. Paola Scifo, Dipartimento di Medicina Nucleare e Centro PET, Istituto Scientifico H S. Raffaele, Via Olgettina 60 -20132 Milano, e-mail: [scifo.paola@hsr.it](mailto:scifo.paola@hsr.it)

Tramontan Lara: Dr. Thomas P. Karnowski P.O. Box 2008 Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, TN 37831-6075 Wk: (865) 574-5732 Fax: (865) 576-8993 E-mail: [karnowskitp@ornl.gov](mailto:karnowskitp@ornl.gov)

Veronese Elisa: Lilla Zollei, A.A. Martinos Center for Biomedical Imaging; MGH, Charlestown, MA 02129, email: [lzollei@nmr.mgh.harvard.edu](mailto:lzollei@nmr.mgh.harvard.edu)

**Commissione 2**: settori: Elettronica, Misure, Automatica

### **Membri effettivi**

Laura Giarre  
D.I.E.T.T.  
Università degli studi di Palermo  
Viale delle Scienze, 90128 Palermo  
Tel: 091 2386 3607, Fax: 091 427940, email: [giarre@unipa.it](mailto:giarre@unipa.it)

Emiliano Sisinni  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Via Branze 38, 25123 Brescia,  
Tel.: 030 371 5445, Fax: 030 380014, email: [emiliano.sisinni@ing.unibs.it](mailto:emiliano.sisinni@ing.unibs.it)

Prof. Michele Goano  
Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino  
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino  
Tel.: 011 564 4142, Fax: 011 564 4099, email: [michele.goano@polito.it](mailto:michele.goano@polito.it)

### **Membri supplenti**

Giuseppe Calafiore  
Dipartimento di Automatica e Informatica (DAUIN)  
Politecnico di Torino  
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino  
Tel.: 011 090 7071, Fax: 011 090 7099, email: [giuseppe.calafiore@polito.it](mailto:giuseppe.calafiore@polito.it)

Leopoldo Angrisani  
Università degli studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Informatica e Sistemistica  
Via Claudio 21, 80125 Napoli  
Tel.: 081 7683170, fax: 081 7683816, email: [leopoldo.angrisani@unina.it](mailto:leopoldo.angrisani@unina.it)

Stefano Saggini  
DIEGM  
Università di Udine  
Via Delle Scienze 208, 33100 Udine  
Tel: 0432 558 270, Fax: 0432 558 251, email: [stefano.saggini@uniud.it](mailto:stefano.saggini@uniud.it)

### **Revisori**

RONCHI Nicolò: Gianmauro Pozzovivo, Infineon Technologies Austria AG,  
Siemensstrasse 2, 9500 Villach, Austria, Tel: +43-5-1777-6797, Fax: +43-4242-305-6776,  
email: [gianmauro.pozzovivo@infineon.com](mailto:gianmauro.pozzovivo@infineon.com)

STOCCO Antonio: Clemens Ostermaier, Infineon Technologies Austria AG,  
Siemensstrasse 2, 9500 Villach, Austria, Tel.: +43 (0)5 1777 2027, Fax: +43 (0)5 1777  
3112, email: [clemens.ostermaier@infineon.com](mailto:clemens.ostermaier@infineon.com)

COSTABEBER Alessandro, Po-Tai Chen, Center for Advanced Power Technologies, Dept. of Electrical Engineering, National Tsing Hua University, Taiwan, email: ptcheng@ieee.org

LOVISARI Enrico: Fabio Fagnani, Dipartimento di Matematica, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel.: 011 564 7509, email: fabio.fagnani@polito.it

TRAMARIN Federico, David Macii, Dipartimento di Ingegneria e Scienze dell'Informazione, Università di Trento, email: macii@disi.unitn.it

**Commissione 3**: settore Telecomunicazioni

**Membri effettivi**

Marco Luise  
Dipartimento Ingegneria Informazione  
Università di Pisa

[Via G. Caruso 16](#), 56122 [PISA](#)

Tel.: 050 221 7662, Fax: 050 221 7522, email: [m.luise@iet.unipi.it](mailto:m.luise@iet.unipi.it)

Fulvio Babich (office)

DEEI-Trieste University

Via A. Valerio 10, 34127 Trieste

Tel: 040 558 7146, Fax: 040 558 3460, email: [babich@univ.trieste.it](mailto:babich@univ.trieste.it)

Gianluca Mazzini (UniFE).

Dipartimento di Ingegneria

Università di Ferrara

Via Saragat 1, 44100 Ferrara

Tel.: 0532 293999, Fax: 0532 974870, email: [gianluca.mazzini@unife.it](mailto:gianluca.mazzini@unife.it)

**Membri supplenti**

Paolo Banelli

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione

Via M. Duranti 93, 06125 Perugia

Tel.: 075 585 3626, Fax: 075 5853 654, email: [paolo.banelli@diei.unipg.it](mailto:paolo.banelli@diei.unipg.it)

Mauro Biagi

Dipartimento di Scienza e tecnica dell'informazione e  
della comunicazione

Via Eudossiana 18, 00184 Roma

Tel.: 06 4458 5856, Fax: 06 4873 300, email: [mauro.biagi@uniroma1.it](mailto:mauro.biagi@uniroma1.it)

Prof. Petar Popovski

Faculty of Engineering and Science

Aalborg University, Department of Electronic Systems  
Niels Jernes Vej 12, A6-216, 9220 Aalborg, Denmark  
Tel.: +45 9940 9897, Fax: +45 98 15 1583, e-mail: petarp@es.aau.dk

**Revisori**

TAPPARELLO Cristiano: Giovanni Neglia, INRIA, France, email: giovanni.neglia@inria.fr

TOMASI Beatrice: Milica Stojanovic, Northeastern University, Boston, USA, email: millitsa@mit.edu

ZENNARO Davide: Dr. Osvaldo Simeone, Center for wireless communication and signal processing research (CWCSRP), New Jersey Institute of Technology (NJIT), University Heights, NJ, USA, email: osvaldo.simeone@njit.edu

**Commissione 4**: settore Informatica

**Membri effettivi**

Prof. Raffaele Giancarlo  
Dipartimento di Matematica, Università di Palermo  
Via Archirafi 34, 90100 Palermo  
Tel.: 091 238 91067, Fax: 091/238 91024, email: [raffaele@math.unipa.it](mailto:raffaele@math.unipa.it)

Prof. Alessandro Panconesi  
Dipartimento di Informatica, Università di Roma La Sapienza  
Via Salaria 113, 00198 Roma  
Tel.: 06 4991 8528, Fax: 06 854 1842, email: [ale@di.uniroma1.it](mailto:ale@di.uniroma1.it)

Prof. Davide Rocchesso  
Dipartimento delle Arti e del Disegno Industriale, Università IUAV di Venezia  
Dorsoduro 2206 - ex Convento delle Terese  
30123 Venezia  
Tel.: 041 257 1341, email: [davide.rocchesso@iuav.it](mailto:davide.rocchesso@iuav.it)

**Membri Supplenti**

Prof. Augusto Sarti  
Dipartimento di Elettronica e Informazione  
Politecnico di Milano, Via Ponzio 34/5, 20133 Milano,  
Tel.: 02 23993444, Fax.: 02 23993413, email: sarti@elet.polimi.it

Prof. Alfredo Ferro  
Dipartimento di Matematica e Informatica  
Università di Catania  
Via A. Doria 6, 95125 Catania  
Tel.: 0957383071, Fax: 095 330 094, email: ferro@dmi.unict.it

Prof. Linda Pagli  
Dipartimento di Informatica, Università di Pisa  
Largo B. Pontecorvo 3, 56127 Pisa  
Tel.: 050 2212735, Fax: 050/2212726, email: [pagli@di.unipi.it](mailto:pagli@di.unipi.it)

### **Revisori**

MONTECCHIO Nicola: Prof. Roger B. Dannenberg, Carnegie-Mellon University, email: [rbd@cs.cmu.edu](mailto:rbd@cs.cmu.edu)

PETTARIN Alberto: Prof. Andrea Clementi, Dip. di Matematica, Università di Roma "Tor Vergata", Via della Ricerca Scientifica, 00133 Roma, email: [clementi@axp.mat.uniroma2.it](mailto:clementi@axp.mat.uniroma2.it), tel.: 06 7259 4622

SCQUIZZATO Michele: Calin Cascaval, Director of Engineering, Qualcomm Research, Santa Clara, CA, USA, email: [cascaval@qualcomm.com](mailto:cascaval@qualcomm.com)

SPAGNOL Simone: Ville Pulkki, Aalto University, Department of Signal processing and acoustics, Aalto, Finlandia, email: [Ville.Pulkki@aalto.fi](mailto:Ville.Pulkki@aalto.fi)

VERZOTTO Davide: Prof. Stefano Lonardi, University of California, Riverside, email: [stelo@cs.ucr.edu](mailto:stelo@cs.ucr.edu)

Il Collegio ratifica.

## **5. Valutazione annuale dei dottorandi**

**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, Zandrea Alberto, Zecchin Chiara, Zordan Davide.

**I dottorandi del XXV ciclo:** Artico Fausto, Azad MdSaiful, Baracca Paolo, Bassi Matteo, Bottegal Giulio, Canzian Luca, Dalla Pozza Nicola, Dal Mutto Carlo, Danieletto Matteo, Eduati Federica, Guiotto Annamaria, Largajolli Anna, Lattanzio Silvia Maria, Mangione Angelo, Maran Fabio, Micheletto Francesco, Michelusi Nicolò, Milani Emanuele, Mina Marco, Sartori Elisa, Scaramuzza Matteo, Sichirollo Francesco, Susto Gian Antonio, Veronese Mattia, Zanella Filippo, Zanon Mattia, Zorzi Mattia.

**I dottorandi del XXIV ciclo:** Castellani Angelo Paolo, Costabeber Alessandro, Del Din Silvia, Guerra Stefania, Lovisari Enrico, Maso Marco, Montecchio Nicola, Pettarin Alberto, Rahim Muhammad Sajjadur, Rahman Mohammed Mostafizur, Rizzo Gaia, Ronchi Nicola, Sanavia Tiziana, Scquizzato Michele, Spagnol Simone, Squarcina Letizia,

Stocco Antonio, Tapparello Cristiano, Tomasi Beatrice, Tramarin Federico, Tramontan Lara, Veronese Elisa, Verzotto Davide, Zennaro Davide

hanno consegnato la prescritta relazione annuale sull'attività svolta. Inoltre nel periodo dal 15 novembre al 3 dicembre i dottorandi del secondo anno e terzo anno hanno presentato alla commissione proposta dal supervisore l'attività svolta.

## 6. Ammissione dei dottorandi del primo e secondo anno all'anno di corso successivo

Il direttore ricorda al Collegio le modalità approvate circa l'ammissibilità dei dottorandi al **secondo anno**. Illustra al collegio i risultati della valutazione da lui condotta assieme al vice-direttore e al referente per l'attività didattica rispetto all'attività didattica svolta dai dottorandi (così come dedotto dal database degli esami sostenuti e sentito dove necessario i docenti dei singoli corsi).

Sulla base dei requisiti deliberati dal collegio risultano aver conseguito le condizioni di ammissibilità al secondo anno i seguenti dottorandi:

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, Schimid Michele, Simmini Francesco, Trifoglio Emanuele, Vaccari Simone, Zago Nicola, Zanandrea Alberto, Zecchin Chiara, Zordan Davide.

Dopo discussione il Collegio unanime delibera di ammettere al secondo anno i sopra elencati dottorandi.

Il direttore ricorda al Collegio le modalità approvate circa l'ammissibilità dei dottorandi al **terzo anno**. Illustra al collegio i risultati della valutazione condotta dalle commissioni sulla base della relazione annuale e della presentazione dell'attività svolta (Allegati 6.1-6.27).

Per gli studenti del XXV ciclo tale attività riguarda lo svolgimento di attività di ricerca inerente l'argomento sul quale verterà la tesi finale di dottorato di cui si riportano gli estremi:

Artico Fausto, presenta una relazione sul tema: "Reali Prestazioni di Picco dei Cuda Cores GPU Modello GTX 470", Supervisore Prof. Gianfranco Bilardi

Azad MdSaiful, presenta una relazione sul tema: "Protocols for Underwater Acoustic Networks and their Design Consideration", Supervisore Prof. Michele Zorzi

Baracca Paolo, presenta una relazione sul tema: "Transmission techniques for multi-cell

MIMO down link”, Supervisore Prof. Nevio Benvenuto

Bassi Matteo, presenta una relazione sul tema: “RF front-ends for stepped-frequency, continuous-wave radar used in microwave imaging applications”, Supervisore Prof. Andrea Neviani

Bottegal Giulio, presenta una relazione sul tema: “An introduction to generalized factor analysis mode”, Supervisore Prof. Giorgio Picci

Canzian Luca, presenta una relazione sul tema: “A game-theoretic approach for resource sharing in wireless networks”, Supervisore Prof. Michele Zorzi

Dalla Pozza Nicola, presenta una relazione sul tema: “Receiver Design for Quantum Binary and Pulse Position Modulation”, Supervisore Prof. Nicola Laurenti

Dal Mutto Carlo, presenta una relazione sul tema: “Acquisition and processing of Tof and Stereo Data”, Supervisore Prof. Guidomaria Cortelazzo

Danieletto Matteo, presenta una relazione sul tema: “A autonomous system can extract semantic information by Sensors of IoT”, Supervisore Prof. Michele Zorzi

Eduati Federica, presenta una relazione sul tema: “Modelling transcriptional and post-transcriptional regulatory networks”, Supervisore Prof.ssa Gianna Maria Toffolo

Guiotto Annamaria, presenta una relazione sul tema: “Biomechanical model of the diabetic foot”, Prof. Claudio Cobelli

Largajolli Anna, presenta una relazione sul tema: “Nonlinear mixed effects modeling of the glucose insulin system”, Prof. Claudio Cobelli

Lattanzio Silvia Maria, presenta una relazione sul tema: “Lab on Chip: capacitive stimulation of cells”, Supervisore Prof. Stefano Vassanelli

Mangione Angelo, presenta una relazione sul tema: “Fasci vettoriali cilindrici in fibra: modi di ordine superiore e modello teorico in fibre spun”, Supervisore Prof. Andrea Galtarossa

Maran Fabio, presenta una relazione sul tema: “Optimal control strategies for automotive problems”, Supervisore Prof. Alessandro Beghi

Micheletto Francesco, presenta una relazione sul tema: “Development of incretin and counter - regulatory hormones models in healthy and diabetic subjects”, Supervisore Prof.ssa Chiara Dalla Man

Michelusi Nicolò, presenta una relazione sul tema: “Hybrid Sparse/Diffuse Ultra-

WideBand Channel Estimation”, Supervisore Prof. Michele Zorzi

Milani Emanuele, presenta una relazione sul tema: “Machines with pipelined hierarchical memory”, Supervisore Prof. Gianfranco Bilardi

Mina Marco, presenta una relazione sul tema: “Improving biological networks analysis introducing semantic networks”, Supervisore Prof.ssa Concettina Guerra

Sartori Elisa, presenta una relazione sul tema: “Methods for the analysis of effective connectivity among cortical regions based in high density EEG recordings”, Supervisore Prof.ssa Gianna Maria Toffolo

Scaramuzza Matteo, presenta una relazione sul tema: “Studio dell'interfaccia elettrodo/materiale biologico in biosensori”, Supervisore Prof. Alessandro Paccagnella

Sichirolo Francesco, presenta una relazione sul tema: “Offline converters for solid state lighting applications”, Supervisore Prof. Giorgio Spiazzi

Susto Gian Antonio, presenta una relazione sul tema: “Statistical methods for semiconductor manufacturing”, Supervisore Prof. Alessandro Beghi

Veronese Mattia, presenta una relazione sul tema: “Quantitative functional brain imaging with positron emission tomography”, Supervisore Prof.ssa Alessandra Bertoldo

Zanella Filippo, presenta una relazione sul tema: “Newton Raphson consensus for distributed convex optimization”, Supervisore Prof. Angelo Cenedese

Zanon Mattia, presenta una relazione sul tema: “Modellizzazione di dati da multisensore per il monitoraggio non invasivo dei livelli di glucosio nel sangue”, Supervisore Prof. Giovanni Sparacino

Zorzi Mattia, presenta una relazione sul tema: “A new approach to covariance estimation”, Supervisore Prof. Augusto Ferrante

Dopo discussione il Collegio unanime delibera di ammettere al terzo anno i sopra elencati dottorandi.

## **7. Valutazione dell'attività svolta dai dottorandi XXIV ciclo - ammissione all'esame finale**

Il direttore ricorda al Collegio le modalità approvate circa l'ammissibilità dei dottorandi **all'esame finale**.

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. 7.1-7.21), il Collegio:

- prende atto di aver già accolto la richiesta di proroga presentata dagli studenti



**Castellani Angelo Paolo, Maso Marco, Scquizzato Michele**, Indirizzo in Scienza e tecnologia dell'Informazione,

- propone all'unanimità l'ammissione all'esame finale gli studenti: Costabeber Alessandro, Del Din Silvia, Guerra Stefania, Lovisari Enrico, Montecchio Nicola, Pettarin Alberto, Rahman Mohammed Mostafizur, Rizzo Gaia, Ronchi Nicola, Sanavia Tiziana, Spagnol Simone, Squarcina Letizia, Stocco Antonio, Tapparello Cristiano, Tomasi Beatrice, Tramarin Federico, Tramontan Lara, Veronese Elisa, Verzotto Davide, Zennaro Davide e predispone la presentazione di ciascuno di essi come di seguito riportata
- prende atto della relazione nettamente negativa espressa dalla commissione della scuola circa il lavoro svolto dal dottorando **Rahim Muhammad Sajjadur** (All. 7.7) e, dopo ampia discussione, delibera unanime di **non** ammettere il dottorando all'esame finale

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dottor **Costabeber Alessandro** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### Parte 1 Didattica

Partecipazione a Conferenze Internazionali (con presentazione orale)

1. IEEE Industrial Electronics Conference IECON 09, 2-5 November 2009, Porto, Portugal
2. IEEE International Telecommunications Energy Conference INTELEC 2010, June 6<sup>th</sup> -10<sup>th</sup>, Orlando, FL, USA
3. IEEE International Symposium in Industrial Electronics ISIE 2010, 4-7 July 2010, Bari, Italy
4. 14<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2011, 30 August to 1 September 2011, Birmingham, UK
5. 33<sup>rd</sup> IEEE International Telecommunications Energy Conference INTELEC 2011, 9-13 October 2011, Amsterdam, The Netherlands

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

1. Supporto al corso di Elettronica Industriale, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccatronica, Università di Padova A.A. 2009/2010  
Titolare del corso: Prof. Paolo Tenti
2. Supporto alle esercitazioni di laboratorio del corso di Elettronica, Corso di Laurea in ingegneria Meccatronica A.A. 2011/2012  
Titolare del corso: Prof. Simone Buso

Permanenza all'estero

Periodo di 8 mesi, da Settembre 2010 a Maggio 2011 presso il PEMC (Power Electronics Machines And Drives) Group all'Università di Nottingham, UK, sotto la supervisione dei Prof. Mark Sumner e Pericle Zanchetta. L'attività svolta è stata la stabilizzazione in frequenza durante transitori di carico di microreti alimentate da generatori sincroni utilizzando uno STATCOM accoppiato ad uno storage di energia. Il sistema è stato analizzato, simulato e validato sperimentalmente su una rete prototipale di potenza

complessiva pari a 10kW.

## Parte 2 Ricerca

L'attività da me svolta durante questo triennio si può sostanzialmente dividere in due parti principali: Il primo anno (2009) e parte del secondo (primo trimestre 2010) sono stati dedicati allo sviluppo di tecniche di controllo digitale per convertitori continua-continua e sorgenti rinnovabili. Tutte le attività sono state sviluppate analiticamente, in simulazione e sperimentalmente in laboratorio.

La seconda parte del 2010 ha visto il passaggio verso quella che è diventata l'attività principale del dottorato, e principale argomento di tesi: le Smart Grid, ovvero l'evoluzione della distribuzione dell'energia resa possibile dalla diffusa disponibilità di intelligenza e comunicazione (ICT technology) nella rete. La scelta è stata dettata dalla improvvisa ascesa dell'argomento nella comunità scientifica, e dal desiderio di investigare un'area del tutto inesplorata e da costruire. La maggior parte dell'attività ha riguardato lo sviluppo analitico e simulativo di algoritmi di controllo distribuito di sorgenti di energia, insieme ad un prolungato lavoro bibliografico teso ad identificare lo stato dell'arte, peraltro in continua evoluzione, per decidere la posizione dell'attività di ricerca e i suoi obiettivi.

Diversamente da questo approccio sistemico, durante il periodo all'estero presso la University of Nottingham, ho avuto la possibilità di investigare un aspetto specifico dell'applicazione di controlli "intelligenti" a una micro rete: l'iniezione di potenza tramite STATCOM accoppiato ad un energy storage per fronteggiare e minimizzare le variazioni di frequenza che una rete isolata alimentata da generatori sincroni subisce durante improvvisi transitori di carico. Naturalmente i due argomenti non sono direttamente sovrapponibili, ma mi hanno dato la possibilità di avere una visione d'insieme del problema – dal generale allo specifico – che ritengo fondamentale nella mia formazione.

Di seguito le principali attività svolte nel triennio sono brevemente riassunte. Salvo poche eccezioni, è presente una corrispondenza uno a uno con le pubblicazioni riportate alla fine di questo documento, per cui si rimanda alle pubblicazioni per i dettagli.

**Primo Anno (2009):** durante l'anno l'attività di ricerca si è articolata su due tematiche principali. La prima, più strettamente di ricerca, ha riguardato l'investigazione di nuove tecniche di controllo digitale per convertitori a commutazione, mentre la seconda lo sviluppo di un convertitore da pannello fotovoltaico alla rete di distribuzione, nell'ambito di una collaborazione dei nostri laboratori di elettronica di potenza con la multinazionale National Semiconductors. Di seguito si riportano i dettagli dell'attività svolta e i principali risultati ottenuti.

1. Tecniche di controllo digitale: Nell'ambito del controllo dei convertitori a commutazione (SMPS - Switched Mode Power Supply) il controllo digitale permette di implementare tecniche di controllo non convenzionale che non sono

realizzabili per via analogica. In particolare il mio lavoro si è concentrato su convertitori DC-DC e su due tecniche principali: il controllo Time-Optimal e gli algoritmi di Autotuning. Il controllo Time-Optimal si basa sulla considerazione che un normale regolatore PID non è in grado di rispondere con dinamiche ottimali a transitori improvvisi che modificano le condizioni operative del convertitore. L'effetto è che la tensione di uscita subisce solitamente una variazione tale da costringere a un sovradimensionamento del condensatore di uscita per garantire le specifiche di regolazione a regime e in transitorio. Tra i possibili transitori, sono stati presi in considerazione i transitori di carico, nel caso specifico di un convertitore buck realizzato in laboratorio, e di numero di fasi attive in un convertitore buck multifase. In entrambi i casi si è visto che esiste una legge di controllo che svincolandosi dal PID, risponde in modo ottimale a questi transitori, intendendo con ottimale che la variazione di uscita è minima e il tempo di recupero è minimo. L'importanza del risultato ottenuto è che entrambe le soluzioni risultano indipendenti dai parametri del convertitore, che come noto sono affetti da variazioni dovute a tolleranze e invecchiamento dei componenti. Il lavoro svolto si è articolato a partire dallo studio teorico, per poi verificare il controllo in simulazione ed infine realizzare in laboratorio il prototipo del convertitore, controllato da DSP o FPGA. I risultati ottenuti hanno permesso di realizzare diverse pubblicazioni, basate sul concetto appena esposto ma applicato a diversi tipi di controllori. Le tecniche di autotuning sono invece degli algoritmi che hanno lo scopo di realizzare un anello di controllo, nel caso specifico della mia attività un anello di tensione in un convertitore buck, in grado di aggiustare automaticamente i propri coefficienti per assicurare una certa banda passante del controllo e un certo margine di fase. In questo modo si supera la dipendenza delle prestazioni del convertitore dalla variazione dei suoi parametri, dovuta alle tolleranze dei componenti. In questo ambito due algoritmi innovativi sono stati proposti dal nostro gruppo, uno basato su un controllore analogico con supervisore digitale che realizza il tuning, e uno completamente digitale. Entrambi i lavori sono stati pubblicati su rivista.

3. Progetto National Semiconductors: Il lavoro svolto in collaborazione con NS ha avuto come obiettivo la realizzazione di un sistema di conversione dell'energia in grado di interfacciare un singolo pannello fotovoltaico da 200-300 W direttamente con la rete di distribuzione. L'intero sistema prende il nome di microinverter, per sottolineare la bassa potenza rispetto ai tipici sistemi di conversione per il fotovoltaico. Una struttura di questo tipo ha il vantaggio di poter essere facilmente integrata, raggiungendo dimensioni tali da pensare di fornire ogni pannello già completo di convertitore e dando la possibilità di aumentare la potenza dell'impianto semplicemente connettendo un sufficiente numero di moduli in parallelo verso la rete elettrica. I vantaggi di una struttura di questo tipo sono la modularità e l'ottimizzazione dell'MPPT, Maximum Power Point Tracking, dato che si evita il problema dell'ombreggiamento parziale dei pannelli. Naturalmente una delle specifiche

fondamentali è l'elevata efficienza del sistema. Nella prima parte del progetto si è definita la topologia da utilizzare e le strategie di controllo per ottimizzare l'efficienza, dopo di che si è passati al progetto e alle simulazioni, ed infine alla realizzazione del prototipo sperimentale funzionante del sistema. Il lavoro è stato portato a termine con successo, ma non ha ancora permesso di realizzare pubblicazioni sull'argomento a causa dell'interesse strategico dell'azienda partner.

**Secondo anno (2010):** durante questo secondo anno di dottorato sono stato inizialmente impegnato a completare attività iniziate a fine 2009 nell'ambito del controllo digitale, per poi spostare l'attenzione verso le nuove tematiche di controllo emergenti nelle Smart Grid, collaborando col Prof. Paolo Tenti nell'investigazione delle possibili tecniche di controllo distribuito di fonti di energia connesse alla rete. La prima parte dell'attività è stata investigata completamente: dagli aspetti teorici, alle simulazioni, per arrivare alla validazione sperimentale. La seconda parte è stata invece affrontata soltanto teoricamente e in simulazione, appartenendo a un progetto di ricerca a lungo termine, che richiede tempi di sviluppo più ampi. In entrambe le tematiche, la mia attività si è tradotta in diverse pubblicazioni in conferenze internazionali, alcune delle quali da me presentate durante la conferenza e alcune delle quali in attesa di pubblicazione su rivista, in fase più o meno avanzata dell'iter di revisione. Da settembre di quest'anno ho iniziato l'esperienza all'estero presso il PEMC (Power Electronics Machines and Control) group presso la University of Nottingham, UK. Gli obiettivi principali della permanenza sono stati la possibilità di confrontarmi con un ambiente di ricerca molto ampio e ricco di contatti col mondo dell'industria e l'acquisizione di competenze teorico sperimentali che potranno certamente tornare utili agli sviluppi futuri dell'attività presso il nostro dipartimento. Nel seguito verranno descritte con maggior dettaglio le singole attività svolte.

1. Tecniche di controllo digitale: Nell'ambito del controllo dei convertitori a commutazione (SMPS - Switched Mode Power Supply) il controllo digitale permette di implementare tecniche di controllo non convenzionale, che non sono realizzabili per via analogica. Considerazioni analoghe valgono anche nel settore degli azionamenti elettrici, dove notevoli miglioramenti prestazionali e di efficienza sono stati raggiunti negli ultimi anni grazie ad un più sofisticato controllo degli inverter.

I due lavori che sono stati completati all'inizio di quest'anno riguardano due algoritmi di autotuning: uno applicato a un convertitore DC/DC buck con controllo implementato su DSP, l'altro applicato ad un azionamento di piccola potenza (3kW) e controllo implementato su scheda dSpace. Il primo lavoro è stato svolto dal nostro gruppo in collaborazione con l'Università di Udine, il secondo col gruppo di azionamenti (EdLab) del Dipartimento di Ingegneria Elettrica della nostra Università. In entrambi i casi l'attività è stata la taratura automatica dei parametri di un regolatore PID dell'anello principale di regolazione (anello di

tensione per il DC/DC, di velocità per l'azionamento). L'obiettivo comune è il raggiungimento di una prefissata banda passante del controllo e un certo margine di fase del controllo. In questo modo si supera la dipendenza delle prestazioni del convertitore dalla variazione dei parametri del sistema (convertitore DC/DC o macchina elettrica), dovuta alle tolleranze dei componenti o a incertezze di modello, garantendo le prestazioni volute.

L'algoritmo di controllo nel caso del DC/DC è basato sull'iniezione di disturbi (white noise) nell'anello di regolazione, per stimare la risposta impulsiva del sistema e minimizzare, tramite un algoritmo di ricerca del minimo, una funzione distanza tra la risposta impulsiva misurata a quella desiderata. Nel caso dell'azionamento si inietta nell'anello una sinusoide alla frequenza desiderata per la banda passante e si ricavano i parametri del regolatore misurando in diversi punti dell'anello l'ampiezza e la fase del segnale alla frequenza di iniezione. Per estrarre la singola frequenza si è utilizzato l'algoritmo di Goertzel, che rappresenta una versione semplificata della FFT.

Entrambe le tecniche hanno trovato riscontro nelle prove sperimentali, e sono state presentate rispettivamente all'IEEE APEC 2010 e all'IET PEMD 2010. Il lavoro dell'APEC è successivamente pubblicato su rivista IEEE Transactions on Power Electronics.

2. Progetto Smart Grid: Nella restante parte dell'anno, sono stato coinvolto nelle attività riguardanti il controllo della generazione distribuita nelle Smart Grid. L'analisi e il controllo della Smart Grid sono una delle tematiche di ricerca attualmente emergenti, sia per la potenziale produzione di nuove soluzioni in un settore in gran parte inesplorato, sia per la capacità di attrarre finanziamenti, grazie all'importanza strategica di tematiche come l'efficienza energetica e l'integrazione di sempre più numerose sorgenti di energia rinnovabile nella rete di distribuzione.

La definizione di Smart Grid risulta attualmente molto legata al settore di appartenenza di chi propone soluzioni per la gestione del sistema. In realtà la natura della Smart Grid è fortemente multidisciplinare, interessando direttamente il campo dei controlli per la stabilità e l'ottimizzazione, le telecomunicazioni per la necessità di trasmettere informazione per garantire il controllo distribuito e coordinato delle fonti di energia, gli impianti per capire le nuove esigenze in termini di infrastrutture e l'elettronica di potenza per l'opportuna gestione dell'energia, sia in termini di generazione che di controllo dell'iniezione di potenza nella rete. Una Smart Grid si può quindi definire in modo molto semplice come un sistema complesso, con un certo numero di sorgenti di energia e di utilizzatori, un sistema di distribuzione dell'energia, una tecnica di comunicazione che permetta di scambiare informazioni tra le sorgenti di energia e un sistema di controllo che garantisca stabilità e ottimizzazione della rete.

In questo scenario, il lavoro che ho svolto si è concentrato su due aspetti particolari: la definizione di una possibile tecnica di ottimizzazione e la sua implementazione in termini di ruolo svolto dalle interfacce elettroniche con cui le

sorgenti di energia si interfacciano con la rete. L'obiettivo è la definizione dei requisiti che il singolo generatore distribuito deve avere in termini di misure, di comunicazioni, e di controllo, per ottenere l'ottimizzazione desiderata. L'investigazione è stata sviluppata in simulazione, in ambiente Matlab Simulink & Plecs, con l'intenzione di gettare le basi per la realizzazione di un sistema in scala presso il PEL, su cui testare gli algoritmi proposti e su cui rafforzare la collaborazione dei diversi gruppi di ricerca del dipartimento, impegnati in tematiche analoghe, nella prospettiva di una crescita generale del nostro dipartimento.

Nel dettaglio del lavoro svolto, ci siamo concentrati sulla definizione di un riferimento ottimale di potenza reattiva che la sorgente di energia può iniettare in rete per minimizzare le perdite di conduzione nell'impedenza di linea. In questo modo si aumenta l'efficienza complessiva della distribuzione di energia e si sfruttano a pieno le capacità delle interfacce elettroniche in termini di controllo e di dimensionamento (power rating dei convertitori). La tecnica di ottimizzazione è stata testata in due differenti modalità, dipendenti dalla disponibilità o meno di un sistema di comunicazione (che non sempre può essere presente, per ragioni di costo e di complessità): l'approccio Token Ring e l'approccio Plug & Play. Nel Token Ring si definisce un token, che viene scambiato ciclicamente tra i generatori di rete. Il token contiene le informazioni sul possessore precedente che possono essere utili a facilitare l'ottimizzazione del proprio riferimento di potenza reattiva per il possessore attuale. Nel Plug & Play si assume invece la totale assenza di comunicazione tra i nodi della rete, obbligando a definire un riferimento ottimale basato esclusivamente su misure ai morsetti di connessione (tensione, corrente, stima di impedenza).

I risultati preliminari delle simulazioni danno risultati incoraggianti, confermando l'ottimizzazione delle perdite proposta teoricamente, ed evidenziando limiti e problematiche che emergono in assenza di comunicazione o con comunicazione limitata. Questi risultati sono stati presentati in diverse conferenze durante quest'anno (INTELEC, ISIE, IPEC, ICSET) e due dei lavori proposti hanno iniziato l'iter per la pubblicazione su rivista.

Durante l'anno ho iniziato il lavoro di estensione delle simulazioni a una rete con un numero arbitrario di sorgenti distribuite (inizialmente è stato considerato un numero di generatori compreso tra 2 e 4, per limitare la complessità delle simulazioni), sviluppando un codice Matlab dedicato, che permetta maggiore flessibilità per il test degli algoritmi di controllo e di eventuali guasti o errori di comunicazione, per avere indicazioni sulla robustezza e sulla stabilità del sistema di generazione distribuita. Parallelamente è stata accelerata la definizione di un possibile setup sperimentale e delle risorse necessarie alla sua realizzazione in laboratorio.

4. Attività presso il PEMC, Nottingham University: Tra ottobre 2010 e maggio 2011 sono stato impegnato in un periodo di ricerca nel gruppo di Power Electronics Machines and Control, sotto la supervisione del Prof. Pericle Zanchetta e del Prof.

Mark Sumner. Lo scopo è l'acquisizione delle competenze sperimentali che un gruppo di grandi dimensioni può offrire, oltre alla costruzione di nuove relazioni in un ambiente internazionale. Nello specifico del progetto, mi sono occupato della realizzazione di un controllo di uno STATCOM con Energy Storage a Supercondensatori, da utilizzare come supporto di frequenza e tensione di una microrete. Il supporto di tensione avviene iniettando potenza reattiva, il supporto di frequenza iniettando potenza attiva. Il supporto di frequenza è particolarmente importante nelle reti in funzionamento isolato, alimentate da generatori diesel o turbine a gas. Questo tipo di sistemi hanno generalmente dinamiche lente dovute ai sistemi meccanici e termodinamici, e in caso di transitorio di carico tendono a diminuire o aumentare la frequenza generata, portando ad allarmi di under/over frequency. Iniettando con lo STATCOM una opportuna potenza attiva, è possibile ottimizzare i transitori di carico, garantendo la stabilità in frequenza della microrete. La mia attività è iniziata con lo sviluppo del sistema in simulazione e al termine del 2010 ho avviato l'attività sperimentale, rappresentata inizialmente dalla familiarizzazione con la scheda di controllo a DSP/FPGA e poi dalla realizzazione dell'intero setup sperimentale.

**Terzo anno (2011):** L'attività di ricerca svolta durante il 2011 è stata in gran parte rappresentata dal periodo all'estero presso la University of Nottingham, durato fino a fine maggio. Un'esperienza che ritengo fondamentale dal punto di vista della formazione, che mi ha permesso di osservare dall'interno un metodo di lavoro e organizzazione differente dal nostro. Allo stesso tempo ho avuto modo di condividere esperienze di ricerca con altri dottorandi e di confrontarmi con un ambiente completamente nuovo. Durante questi mesi sono stato impegnato in studio analitico, simulazioni e attività sperimentali che si sono concretizzati in ottimi risultati, che, compatibilmente con gli altri impegni legati alla conclusione del dottorato, verranno pubblicati il prima possibile. Contemporaneamente, ho proseguito a distanza l'attività sulle Smart Grid, per mantenere la sincronizzazione al momento del rientro.

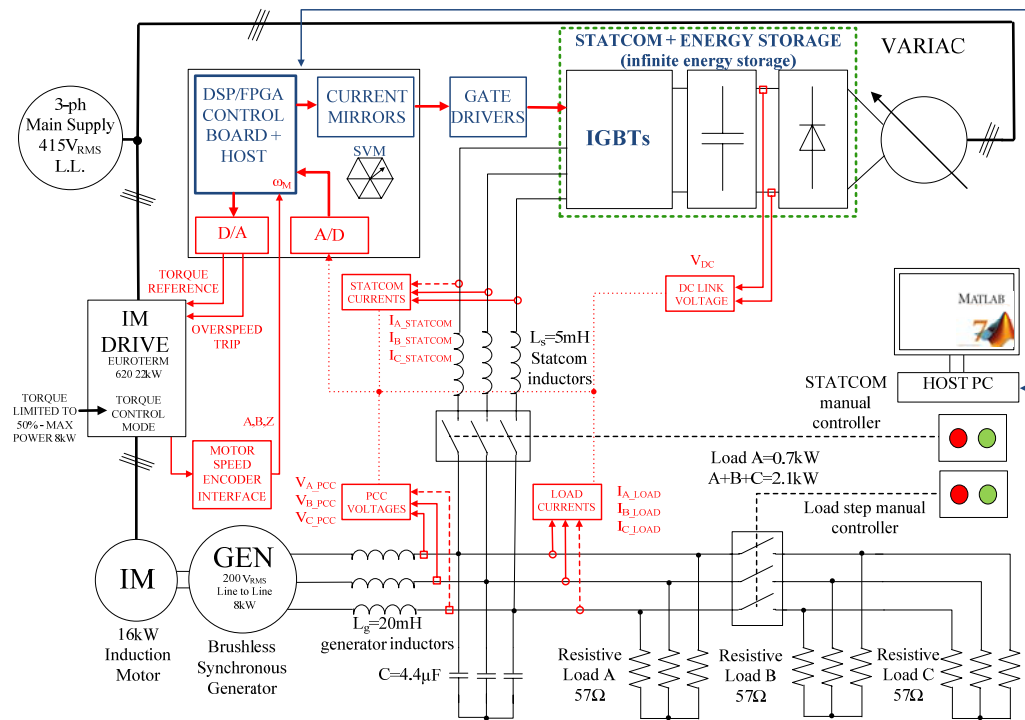
Al rientro, a giugno, ho proseguito l'attività di studio e simulazione sulle Smart Grid, finalizzando alcune pubblicazioni accettate su rivista e riordinando e aggiornando le simulazioni fatte, basandomi su un nuovo software di simulazione in Matlab che ho sviluppato per avere una piattaforma flessibile su cui testare gli algoritmi di controllo proposti.

Nel seguito, i dettagli delle attività:

1. Attività presso il PEMC, Nottingham University: Ad inizio 2011 ho finalizzato tutte le simulazioni sul sistema, definendo i dettagli della parte di potenza e del controllo che avrei dovuto implementare. Ho iniziato quindi a organizzare l'attività sperimentale, che si preannunciava fin da subito di una certa complessità: il sistema di per se era composto di elementi "standard", quali inverter trifase (STATCOM), raddrizzatore per emulare uno storage "infinito", generatore sincrono, motore asincrono trifase per emulare il "prime mover" del generatore sincrono, che normalmente è un motore diesel, azionamento



industriale per il motore e carichi resistivi per emulare gli utenti della micro rete. Il tutto controllato dal sistema DSP/FPGA, che realizza l'anello di corrente dell'inverter e contemporaneamente si interfaccia con l'azionamento trifase per gestire l'anello di velocità (l'anello di corrente dell'azionamento è direttamente gestito dal software interno). Inoltre il codice DSP gestisce una macchina a stati che scandisce le diverse fasi di funzionamento durante l'esperimento. L'interfacciamento con l'azionamento ha richiesto la realizzazione di semplici schede analogiche di front-end, ad esempio per la lettura dell'encoder e per la coordinazione delle protezioni in caso di malfunzionamento, fondamentali non solo per il sistema, ma anche per la sicurezza dell'attività sperimentale. La figura di seguito riporta le parti principali del sistema realizzato:



Tralasciando i dettagli implementativi, la realizzazione del prototipo è stata svolta a blocchi: inverter, interfacciamento con l'azionamento, controllo del motore a induzione, realizzazione della micro rete (collegando il generatore sincrono) sono stati testati e sviluppati singolarmente, appoggiandosi anche a simulazioni dedicate. Il risultato è stato la conferma della validità della proposta fatta, con risultati più che incoraggianti a proseguire lo sviluppo. La fine del periodo a disposizione ha purtroppo impedito il perfezionamento di alcuni dettagli. Rimane tuttavia la volontà di proseguire il lavoro anche da parte del PEMC group, cercando innanzitutto di pubblicare il lavoro.

2. **Attività sulle Smart Grid:** durante la permanenza a Nottingham ho proseguito in parallelo l'attività sulle Smart Grid, dedicandomi soprattutto alla realizzazione di un software adeguato alle necessità della simulazione: fino a quel momento avevo usato Simulink e Plecs, per simulare la rete elettrica, i convertitori e il relativo controllo. Tuttavia questo limitava fortemente il numero di generatori distribuiti che potevano essere contemporaneamente attivi sulla rete, pena l'allungamento inaccettabile dei tempi di simulazione. Ho perciò optato per una simulazione di tipo fasoriale, dove alle grandezze nel tempo viene sostituito il corrispondente fasore. Naturalmente si perde ogni informazione sui transitori, ma gli algoritmi di controllo distribuito si portano a regime alle stesse configurazioni, col vantaggio di poter aumentare notevolmente la complessità della rete. Il codice di simulazione è stato sviluppato in Matlab, realizzando una serie di funzioni custom nelle quali fosse possibile costruire, simulare e controllare una micro rete in modo completamente flessibile. Questo mi ha permesso di aggiornare tutte le simulazioni fatte fino a quel momento, ottenendo un benchmark comune per tutti gli algoritmi proposti.

Al rientro ho finalizzato la stesura di due articoli su rivista, sulla minimizzazione delle perdite di distribuzione AC tramite iniezione di potenza reattiva distribuita. Ho iniziato inoltre la realizzazione di un piccolo setup sperimentale su cui iniziare una prima sperimentazione degli algoritmi di controllo. Il setup si basa sull'utilizzo di un UPS trifase come tre inverter monofase indipendenti, da inserire in una micro rete con impedenze di linea emulate da impedenze concentrate e carichi. Tuttavia la sua realizzazione, che come la maggior parte delle attività di laboratorio richiede un certo dispendio di tempo, è stata frenata dalla preparazione della tesi finale. L'attività riprenderà il prima possibile, una volta ultimata la tesi.

### Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore

**“ADVANCED CONTROL OF POWER CONVERTERS FOR EFFICIENT USE OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES IN FUTURE SMART MICRO GRIDS”**

**Supervisor:** Simone Buso

**Co-Supervisors:** Paolo Tenti, Paolo Mattavelli

**Parte 3 Pubblicazioni (aggiornate a quanto disponibile in <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/guesthome.jsp> al 24/10/2011)**

### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- [1] A. Costabeber, P. Mattavelli, S. Saggini, and A. Bianco, “Digital autotuning of dc-dc converters based on a model reference impulse response,” Power Electronics, IEEE

Transactions on, vol. 26, no. 10, pp. 2915 –2924, Oct. 2011.

[2] G. Spiazzi, P. Mattavelli, and A. Costabeber, “High step-up ratio flyback converter with active clamp and voltage multiplier,” Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, p. 1, 2011. (in press?)

[3] P. Tenti, A. Costabeber, P. Mattavelli, and D. Trombetti, “Distribution loss minimization by token ring control of power electronic interfaces in residential micro-grids,” Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, p. 1, 2011.

[4] A. Costabeber, P. Mattavelli, and S. Saggini, “Digital time-optimal phase shedding in multiphase buck converters,” Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 9, pp. 2242 –2247, Sept. 2010.

[5] S. Saggini, A. Costabeber, and P. Mattavelli, “A simple digital autotuning for analog controller in smps,” Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 8, pp. 2170 –2178, Aug. 2010.

[6] L. Corradini, A. Costabeber, P. Mattavelli, and S. Saggini, “Parameter-independent time-optimal digital control for point-of-load converters,” Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 24, no. 10, pp. 2235 –2248, Oct. 2009.

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

[1] A. Costabeber, T. Erseghe, P. Tenti, S. Tomasin, and P. Mattavelli, “Optimization of micro-grid operation by dynamic grid mapping and token ring control,” in Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on, 30 2011-Sept. 1 2011, pp. 1 –10.

[2] A. Costabeber, T. Erseghe, P. Tenti, and S. Tomasin, “Optimum control of distributed energy resources in residential micro-grids,” in PowerTech, 2011 IEEE Trondheim, June 2011, p. 1.

[3] G. Spiazzi, P. Mattavelli, and A. Costabeber, “Analysis of a high step-up ratio flyback converter with active clamp and voltage multiplier,” in Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE, Sept. 2010, pp. 535 –541.

[4] H. Morales Paredes, A. Costabeber, and P. Tenti, “Application of conservative power theory to cooperative control of distributed compensators in smart grids,” in Nonsinusoidal Currents and Compensation (ISNCC), 2010 International School on, June 2010, pp. 190 –196.

[5] P. Tenti, A. Costabeber, D. Trombetti, and P. Mattavelli, “Plug and play operation of distributed energy resources in micro-grids,” in Telecommunications Energy

Conference (INTELEC), 32nd International, June 2010, pp. 1 –6.

[6] P. Tenti, A. Costabeber, and P. Mattavelli, “Improving power quality and distribution efficiency in micro-grids by cooperative control of switching power interfaces,” in Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International, June 2010, pp. 472 –479.

[7] A. Costabeber, P. Mattavelli, S. Saggini, and A. Bianco, “Digital autotuning of dc-dc converters based on model reference impulse response,” in Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE, Feb. 2010, pp. 1287 –1294.

[8] P. Tenti, D. Trombetti, A. Costabeber, and P. Mattavelli, “Distribution loss minimization by token ring control of power electronic interfaces in residential micro-grids,” in Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, July 2010, pp. 2377 –2381.

[9] A. Costabeber, P. Mattavelli, L. Peretti, and M. Zigliotto, “A speed loop autotuning method based on signal injection for electrical drives,” in Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010), 5th IET International Conference on, April 2010, pp. 1 –6.

[10] A. Costabeber, P. Tenti, and P. Mattavelli, “Surround control of distributed energy resources in micro-grids,” in Sustainable Energy Technologies (ICSET), 2010 IEEE International Conference on, Dec. 2010, pp. 1 –6.

[11] S. Saggini, A. Costabeber, and P. Mattavelli, “A simple digital auto-tuning for analog controller in smps,” in Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE, Feb. 2009, pp. 252 –258.

[12] A. Costabeber, P. Mattavelli, and S. Saggini, “Fpga implementation of phase shedding with time-optimal controller in multi-phase buck converters,” in Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, Nov. 2009, pp. 2919 –2924.

[13] G. Spiazzi, P. Mattavelli, and A. Costabeber, “Effect of parasitic components in the integrated boost-flyback high step-up converter,” in Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, Nov. 2009, pp. 420 –425.

[14] A. Costabeber, L. Corradini, P. Mattavelli, and S. Saggini, “Time optimal, parameters-insensitive digital controller for dc-dc buck converters,” in Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE, June 2008, pp. 1243 –1249.

[15] L. Corradini, A. Costabeber, P. Mattavelli, and S. Saggini, “Time optimal,

parameters-insensitive digital controller for vrm applications with adaptive voltage positioning,” in Control and Modeling for Power Electronics, 2008. COMPEL 2008. 11th Workshop on, Aug. 2008, pp. 1 –8.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Costabeber Alessandro** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **Del Din Silvia** nell'ambito del XXIV ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Del Din Silvia** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

## Parte 1 Didattica

Corsi seguiti

✓ *Primo Anno:*

- Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
- Statistical Methods, Prof. L. Finesso (24 ore)
- Dose, Effect, Threshold, Prof. A. Trevisan
- Dynamical Models in Systems Biology, Prof. C. Altafini
- Positron Emission Tomography (PET), Prof. M.C. Gilardi

WORKSHOP E CORSI ESTERNI:

- ✓ 4-16/09/2009 (Londra), partecipazione al Gait Course (presso il Guy's Hospital) e alla Conferenza ESMAC "XVIII annual meeting of ESMAC".
- ✓ 28-30/09/2009 (Milano), partecipazione al corso di dottorato "Filtering, data analysis and optimization of uncertain systems" (presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione- Politecnico di Milano)

✓ *Secondo Anno:*

- Statistical Methods, Prof. Monica Chiogna (30 ore) organizzata dalla Scuola di Dottorato in Statistica, Dipartimento di Scienze Statistiche, Università di Padova.

CORSI ESTERNI:

- 24-26/02/2010 (Correggio(RE)): VI Corso EMG di Superficie I Livello (SIAMOC)

✓ *Terzo Anno:*

CORSI ESTERNI:

- 18/01/2011 (Institute for Applied Computational Science, Harvard School of Engineering and Applied Science, ComputeFest 2011-Boston): Jiro Doke, Ph.D., Senior Application Engineer: Introduction to Matlab:
  - Accessing data from many sources (files, other software, hardware, etc.)
  - Using interactive tools for iterative exploration, design, and problem solving
  - Automating and capturing your work in easy-to-write scripts and programs
  - Sharing your results with others by automatically creating reports
  - Building and deploying GUI-based applications.
- 18/01/2011 (Institute for Applied Computational Science, Harvard School of Engineering and Applied Science, ComputeFest 2011-Boston): Hands-on workshop: Matlab Basics (SEAS IRCS)
- 19/01/2011 (Institute for Applied Computational Science, Harvard School of Engineering and Applied Science, ComputeFest 2011-Boston): Roger Yeh, MathWorks Application Engineer: Connectivity to hardware
  - Instrument Control
    - First-time connections
    - SCPI/GPIB commands
    - Using and customizing driver
    - Protocols/standards support
  - Data acquisition
    - Configuring hardware for different modes of data acquisition

MATLAB data analysis

- Signal processing, statistical analysis

Sharing MATLAB results

- Publishing reports and building GUI's
- Compiling MATLAB code for deployment

- 20/01/2011 (Institute for Applied Computational Science, Harvard School of Engineering and Applied Science, ComputeFest 2011-Boston): Yi Wang, MathWorks Application Engineer:
  - Understand memory usage and vectorization in MATLAB
    - Address bottlenecks in your programs
    - Optimize file I/O to streamline your code
    - Transition from serial to parallel MATLAB programs
    - Execute applications on a single multicore or multiprocessor desktop
    -

Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

✓ *Primo Anno:*

- 7-10/09/2009: Partecipazione alla XXVIII Scuola Nazionale di Bioingegneria 2009 (Bressanone) dal tema: "Bioingegneria per le neuroscienze cognitive".

✓ *Terzo Anno:*

- 3/06/2011 (Boston, Holiday Inn) Partners HealthCare System Physical Medicine and Rehabilitation Research & Educational Day (PM&R)
- 19-23/09/2011: Partecipazione alla XXX Scuola Annuale di Bioingegneria 2011 (Bressanone) dal tema: "*Neuroinformatica*"

Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

✓ *Primo Anno:*

- 12/01/2009 (Padova): Marco Knaflitz: Statistical Gait Analysis
- 20/02/2009 (Pavia), partecipazione al workshop: "Data Mining e Knowledge Discovery in Bioingegneria".
- 27/03/2009 (Casalnoceto (Al)), partecipazione al workshop: Clinical Gait Analysis "Workshop teorico pratico di Gait Analysis".
- 17/11/2009 (Padova): Stanislav Peharec: Seminario Bioingegneria del Movimento

✓ *Secondo Anno:*

- 16/02/2010 (Padova): Francesco Di Salle: *Neuroimaging funzionale, traguardi recenti, sviluppi futuri ed applicazioni cliniche.*
- 17/03/2010 (Padova): Prof. Carlo Babiloni-Università di Foggia: *L'analisi tempo-frequenza dell'EEG nello studio delle funzioni cognitive.*
- 28/04/2010 (Padova): Prof. Alessandra Bertoldo-Università di Padova: *Studio in risonanza magnetica della connettività anatomica cerebrale mediante immagini di tensore di diffusione (DTI).*
- 18/05/2010 (Padova): Prof. M.T. Giordana: *Le leucodistrofie dell'adulto.*
- 19/05/2010 (Padova): Dott. Simone Cutini- Università di Padova: *La NIRS come strumento di studio delle funzioni cognitive.*

✓ *Terzo Anno:*

- 19-20/11/2010 (The Inn at Longwood Fenway Room Boston, MA USA) *Clinical, Assessment, and Intervention Updates in Neurorehabilitation.*
- 17/12/2010 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital Research Seminars) Paolo Bonato, PhD: *Rehabilitation Robotics.*



- 15/02/2011 (MIT, Boston) *Solving Medical Challenges with Mechanical Engineering-MIT 2.75 Precision Machine Design Clinician and Student Team Presentations.*
- 1/03/2011 (Longwood, Boston) *The Race to Grace: Surviving stress.* (Harvard Medical School-Free mini-med school classes)
- 2/03/2011 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital Research Seminars) Shyamal Patel: *Role of Wearable sensors in medicine.*
- 15/03/2011 (Longwood, Boston) *Living Long, Living Well: Aging with flourish.* (Harvard Medical School-Free mini-med school classes)
- 29/03/2011 (Longwood, Boston) *From Vision to Touch: Exploring the five senses.* (Harvard Medical School-Free mini-med school classes)
- 6/04/2011 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital Research Seminars) Manuella Batista de Oliveira, Debora Duarte Macea, and Magdalena Volz: *Introduction and Clinical Applications of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)* (Understanding the basic mechanisms of the non-invasive brain stimulation technique called transcranial direct current stimulation (tDCS) and introduction to the clinical applications of tDCS using the examples of chronic pain and epilepsy.)
- 12/04/2011 (Longwood, Boston) *Food for Thought: Genetically modified nourishment.* (Harvard Medical School-Free mini-med school classes)
- 15/04/2011 *MATLAB Tools for Scientists – Introduction to Statistical Analysis* (Matlab Webinars)
- 3/05/2011 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital) Dr. Albert Lo (Brown University): *Movement Matter? High Repetition Training for Upper Extremity Motor recovery in Stroke. Results of the ROBOTICS clinical trial.*
- 4/05/2011 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital Research Seminars) Cara Lewis, PT, PhD: *Changing Your Gait to Save Your Hip.*
- 18/05/2011 *Digital Signal Processing using MATLAB* (Matlab Webinars)
- 1/6/2011 (HMS- Spaulding Rehabilitation Hospital Research Seminars) Pradeep Suri, MD: *Flares of Back Pain and their Relationship to Pain Chronicity and Disability.*

Partecipazione a Conferenze Nazionali

✓ *Primo Anno:*

- 04-06/11/2009 (Rimini), partecipazione al Congresso SIR (Società Italiana di Reumatologia).

✓ *Secondo Anno:*

- 07/05/2010 (Università di Roma- Foro Italico), partecipazione alla: "Seconda Giornata di Incontro dei Laboratori SIAMOC".
- 8-10/07/2010 (Torino), partecipazione al Secondo Congresso Del Gruppo Nazionale di Bioingegneria (GNB).
- 4-7/10/2010 (Ferrara), partecipazione al Congresso Nazionale SIAMOC 2010 (XI Congresso Nazionale della Società Italiana di Analisi del Movimento in Clinica)

✓ *Terzo Anno:*

- 28/09-01/10/2011 (Bosisio Parini- Lecco), partecipazione al Congresso Nazionale SIAMOC 2011 (XII Congresso Nazionale della Società Italiana di Analisi del Movimento in Clinica)

Partecipazione a Conferenze Internazionali

✓ *Primo Anno:*

- 17-19/09/2009 (Londra), partecipazione alla Conferenza ESMAC "XVIII annual meeting of ESMAC".

✓ *Secondo Anno:*

- 3-27/05/2010 (Lido di Venezia), partecipazione per presentazione orale al 17<sup>th</sup> European Congress-ESPRM /38° Congresso Nazionale SIMFER.

✓ *Terzo Anno:*

- 26-29/04/2011 (Bethesda- Maryland) Partecipazione alla Conferenza Internazionale GCMAS 2011.
- 30/08-03/09/2011 (Boston- MA) Partecipazione alla Conferenza Internazionale EMBC 2011.

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

✓ *Primo Anno:*

-assistenza in laboratorio per il corso "Elaborazione dei Segnali Biologici" responsabile Prof. Gianna Maria Toffolo CdL specialistica: Bioingegneria (Magistrale) A.A. 2008-2009.

✓ *Secondo Anno:*

- assistenza in laboratorio

Attività di Didattica di supporto:

- 16 ore di didattica integrativa e/o supporto all'insegnamento di "Bioingegneria del Movimento e della Riabilitazione" responsabile Prof. Chiara Dalla

Man  
CdL specialistica: Bioingegneria (Magistrale)  
A.A. 2009/2010

Permanenza all'estero

✓ *Secondo-Terzo Anno*

Ho trascorso undici mesi a Boston (Ottobre 2010-Settembre 2011), presso Harvard Medical School – Motion Analysis Laboratory of the Department of Physical Medicine & Rehabilitation-Spaulding Rehabilitation Hospital.

Il progetto principale riguardava la stima di score clinici basata su feature extraction da dati acquisiti con sensori indossabili su pazienti post-ictus.

Un secondo progetto era centrato sull'acquisizione di dati provenienti da accelerometri, ecg e respirazione, per riuscire a predire, tramite analisi del segnale, le seizures in pazienti con epilessia.

Supervisore a Boston: Prof. Paolo Bonato.

## Parte 2 Ricerca

La mia ricerca è stata volta principalmente a tre progetti:

1- Bioingegneria del Movimento: **Analisi del cammino e della postura nei pazienti affetti da spondilite anchilosante.**

Questo progetto nasce a fronte di una richiesta pervenuta dal Servizio di Riabilitazione (Prof. Claudio Ferraro, Dott. Stefano Masiero, PhD, Dipartimento di Specialità Medico-Chirurgiche, Università-Azienda Ospedaliera di Padova) e dal Dipartimento di Reumatologia (Prof. Leonardo Punzi, Università-Azienda Ospedaliera di Padova) in merito alla possibilità di sviluppare un metodo di valutazione quantitativa degli effetti dei trattamenti di riabilitazione sui pazienti affetti da Spondilite Anchilosante.

Questo studio si propone di investigare gli effetti della spondilite anchilosante sullo svolgimento del passo e sull'assetto posturale al fine di individuare un metodo di valutazione che possa mettere in evidenza pattern patologici di attivazione muscolare, cinematica e cinetica inter-segmentale così da aumentare l'efficacia del trattamento riabilitativo specifico per questi pazienti.

Gli obiettivi dello studio sono stati:

1. creare un protocollo per la valutazione dell'assetto posturale
2. studiare la cinematica (cioè angoli articolari e parametri spazio-temporali) e la dinamica (forze di reazione al suolo, momenti e potenze articolari, ecc.) durante la deambulazione in pazienti con spondilite anchilosante
3. analizzare l'attività muscolare mediante Elettromiografia di superficie dei principali muscoli coinvolti nella deambulazione

4. studiare la mobilità del rachide con sistemi oggettivi e ripetibili.

#### **Analisi della Postura:**

Sono stati analizzati 12 soggetti normali e 12 con SA. I partecipanti sono stati sottoposti sia alla valutazione clinica che all'analisi posturale strumentale. L'analisi clinica prevedeva la valutazione sia della forza muscolare secondo la scala MRC (Medical Research Council), che dell'articolazione del rachide (globale e divisa per distretti) e delle articolazioni di anca ginocchio e caviglia. Per l'analisi posturale ci si è avvalsi di un sistema stereofotogrammetrico BTS Sr.l. (6 telecamere, 60-120 Hz), sincronizzato con 2 pedane di forza Bertec (FP4060-10, 960 Hz), integrato con 2 pedane di pressione Imago S.n.c (risoluzione 0,64 cm<sup>2</sup>, 150Hz). I soggetti sono stati istruiti a rimanere in stazione eretta per 60 secondi con i piedi a 30°, le braccia lungo il corpo, in corrispondenza di una pedana di forza, e a guardare un piccolo bersaglio, posto a 1 metro dagli occhi, a 7 altezze diverse: 0, ±10°, ±20°, ±30° rispetto all'altezza-occhi. Per la stima della cinematica articolare ci si è avvalsi di una versione modificata del protocollo per l'analisi del movimento Leardini et al. 2007. Si sono calcolati alcuni parametri spazio-temporali relativi al COP. E' stato sviluppato un modello posturale per calcolare 9 angoli relativi sul piano sagittale. Per il confronto tra le due popolazioni si sono utilizzate l'analisi 1 way Anova e l'analisi di correlazione di Pearsons.

I risultati ottenuti alla valutazione clinica riscontrano un incremento nella cifosi toracica (> 40°) con una protrusione anteriore della testa e una diminuzione del range di movimento (ROM) del rachide cervicale e lombare. Alla valutazione strumentale si è registrata una diminuzione dei ROM di ogni articolazione (in particolare della caviglia: 2,2° ± 0,5°). In tutti i soggetti si è evidenziata una riduzione di tutti i parametri spazio-temporali estratti dal COP e una particolare difficoltà nel mantenere la postura eretta soprattutto in corrispondenza del test con bersaglio posto a ±20° rispetto all'altezza occhi. Infine si è riscontrata un'ottima correlazione tra l'andamento delle variabili cinematiche e posturografiche.

In conclusione la presenza di un'alterazione posturale e di una rigidità articolare rilevate nei pazienti con SA possono ritenersi utili nella pianificazione terapeutica, e nella valutazione della sua efficacia.

#### **Gait Analysis:**

Sono stati reclutati 12 soggetti sani (N)(età media:59.0±5.2 anni, BMI medio: 24.0±2.9) e 12 con SA (età media:47±15 anni, BMI medio:24±3). Sono state usate 6 telecamere BTS Sr.l. (60-120 Hz) sincronizzate con 2 pedane di forza Bertec (FP4060-10), integrate con 2 pedane di pressione Imago S.n.c (risoluzione 0,64 cm<sup>2</sup>, 150Hz). È stata usata una versione modificata di Leardini et al. 2007. I soggetti sono stati sottoposti al Roemberg test ed è stata condotta un'analisi del movimento in 3D di 3 camminate, a piedi scalzi. Sulle medie dei dati cinetici e cinematici delle 3 camminate, per ogni variabile ed in ogni fase del ciclo del passo, si è eseguita l'analisi 1-way Anova (A) (Matlab), per confrontare i valori medi, e MANOVA (M), per apprezzare le differenze sulle percentuali del ciclo del passo.

Considerando l'intero ciclo del passo, si riscontra una aumentata estensione del tronco (media 7,6°±4,7°, p=0,01con A), con una diminuita flessione media dell'anca (media

$6,44^{\circ} \pm 4,7^{\circ}$ ,  $p=0,04$  con A), unitamente ad una riduzione del range di movimento (RM) dell'angolo di flessione - estensione (FE) d'anca e un aumento nel ROM del ginocchio in FE (tabella 1,  $p=0,02$  con A). È stata rilevata anche una diminuzione della lunghezza del passo ( $0,89\text{m} \pm 0,19\text{m}$ ,  $p=0,01$  con A). Nella fase di accettazione del carico, è stato osservato un pattern di dorsiflessione di caviglia ( $7,8^{\circ} \pm 5,2^{\circ}$ ,  $p < 0,01$  con M) al posto di una plantar - flessione (figura 1), l'angolo di flessione d'anca risulta diminuito ( $17,4^{\circ} \pm 9^{\circ}$ ,  $p < 0,01$  con M) e la forza antero - posteriore è aumentata nella prima metà della fase di midstance ( $4,3 \pm 1,8\%$  del peso corporeo,  $p=0.005$  con M).

Questi risultati preliminari indicano un'alterazione nel pattern del cammino come conseguenza della rigidità tipica della AS, ciò dovrebbe essere preso in considerazione nella programmazione di trattamenti riabilitativi specifici.

#### **Studio della mobilità del rachide:**

È stato sviluppato una nuova metodologia che permette di ricostruire la posizione di 19 vertebre, a partire dall'acquisizione della posizione di alcuni marker posti solamente su 7 particolari vertebre.

Una volta ottenute le posizioni suddette, sono stati sviluppati due metodi per calcolare il valore degli angoli di Cobb tra ogni coppia di vertebre. Lo scopo è quindi quello di ottenere un metodo più oggettivo e ripetibile nel calcolo degli angoli di Cobb, visto che fino ad ora l'unico metodo possibile è tramite l'uso di radiografie.

#### 2- Studio integrato tra Bioingegneria del Movimento e Neuroingegneria: **Riorganizzazione cerebrale nella riabilitazione del cammino in pazienti con emiparesi stabilizzata post-stroke: studio integrato fMRI e gait analysis pre e post trattamento con bio-feedback.**

La capacità di camminare autonomamente con la velocità e resistenza che permettono le attività di tutti i giorni è uno degli obiettivi primari per la riabilitazione neurologica dopo l'ictus (Stroke) che, tra le lesioni cerebro-vascolari, è considerato la principale patologia responsabile di disabilità e di difficoltà nell'inserimento sociale dopo l'evento acuto.

I pazienti con emiparesi tendono ad avere una severa riduzione della potenza prodotta alla caviglia in fase di push-off, con conseguente riduzione della velocità deambulatoria; la potenza prodotta in questa fase è un parametro misurabile solo tramite strumentazione integrata di analisi del cammino effettuata in laboratorio. Studi recenti hanno dimostrato come un protocollo riabilitativo basato su biofeedback elettromiografico (BFB) in un contesto di apprendimento motorio di pazienti con emiparesi post-ictus stabilizzata, sia utile nel migliorare la produzione di potenza alla caviglia al push-off, la velocità e la qualità del cammino.

La risonanza magnetica funzionale (fMRI) fornisce un approccio efficace per analizzare l'attività cerebrale relativa a processi motori e cognitivi, sia in soggetti sani che in soggetti affetti da danni neurologici, grazie all'elevata risoluzione spaziale e alla sicurezza; essa è stata quasi sempre applicata allo studio dell'arto superiore, pochi studi hanno investigato l'attivazione cerebrale durante task relativi alla caviglia. Nasce da queste considerazioni l'utilità di indagare la capacità di dorsiflessione plantare della caviglia, sotto il profilo clinico, cinematico-dinamico e di seguirne il recupero in

relazione ad una possibile variazione dell'attivazione cerebrale.

Lo studio ha previsto il reclutamento di 1 soggetto di controllo e di 4 pazienti cronici con emiparesi da ictus cerebrale (ischemico o emorragico) che sono stati sottoposti ad una valutazione clinica, ad un'analisi strumentata del cammino e ad un'analisi fMRI. In primo luogo è stata effettuata un'analisi preliminare a tempo T0 (ovvero pre-trattamento riabilitativo) nei pazienti post-ictus, per individuare le zone di attivazione cerebrale in seguito al movimento sia attivo che passivo di plantar-dorsiflessione, nell'arto colpito e non, confrontando i risultati ottenuti con i dati soggetto sano.

Successivamente, sui pazienti post-ictus, è stato condotto uno studio longitudinale prima e dopo un programma riabilitativo di BFB, mirato al miglioramento della funzionalità della cavaglia durante il cammino.

Sono stati acquisiti i dati di fMRI e di analisi del cammino (cinetica, cinematica e attività elettromiografia di superficie (EMG)) al tempo T1 (2 mesi dopo T0) per verificare la stabilizzazione del quadro clinico-funzionale e per testare la ripetibilità dei dati raccolti a T0.

I pazienti poi sono stati sottoposti ad un programma riabilitativo di BFB e sono stati invitati a ripresentarsi al termine della riabilitazione (entro 1 settimana, T2) e dopo 3 mesi di follow-up (T3) rispetto alla valutazione iniziale. Le valutazioni a T2 e T3 hanno incluso gli stessi test effettuati a T1.

Sul soggetto è stata effettuata l'analisi fMRI, per definire le zone di attivazione cerebrale di riferimento da confrontare con i dati ottenuti dai pazienti.

L'analisi del cammino cinematica e dinamica è stato sviluppato tramite un sistema integrato di analisi del movimento, rilevazione delle forze al suolo e dei pattern di attivazione muscolare (tramite EMG di superficie).

In generale i risultati dell'analisi fMRI hanno evidenziato, al tempo T0 e T1, durante il task attivo del lato paretico, un'alterata attivazione cerebrale degli pazienti post-ictus rispetto al soggetto di controllo. Durante il task attivo del lato sano, si è osservata l'attivazione cerebrale dell'area motoria primaria (MI), sia per il soggetto di controllo che per tutti i pazienti, mentre per il lato paretico si è riscontrata un'attivazione diffusa della corteccia, di MI controlaterale in due pazienti, mentre nessuna attivazione per i rimanenti. Nel task passivo, per il controllo sono state rilevate le stesse zone di attivazione del task attivo.

Considerando i pazienti post-ictus, si è notata l'attivazione della zona retrostante MI, per il lato paretico e un'attività dell'area premotoria, per il lato sano.

Queste variazioni funzionali del cervello possono rappresentare una strategia di compensazione atte a mantenere una performance normale, nonostante le lesioni cerebrali sparse.

Al tempo T2, per il task attivo si è evidenziata un'attivazione della corteccia motoria destra per il lato paretico, mentre della stessa, della corteccia premotoria e dell'area MI per il lato sano, mentre per il task passivo si è riscontrata un'attivazione dell'area visiva per entrambi i lati, ciò può essere spiegato dal fatto che nel task passivo il paziente può immaginarsi o "vedersi" camminare.

I risultati della gait analysis pre e post riabilitazione sottolineano un miglioramento di alcuni parametri come la cadenza e la lunghezza del passo (che sono legate un

miglioramento ed una sicurezza maggiore nella camminata), un aumento della velocità, un incremento della potenza di caviglia e del lavoro positivo di anca e di caviglia.

L'analisi di correlazione tra le variabili categoriali relative all'attivazione delle diverse aree cerebrali e al miglioramento (presente o meno) di alcune variabili della gait analysis quali velocità, cadenza, picco di potenza della caviglia (sia relativo al modulo che all'onset, ovvero alla posizione del picco), ha evidenziato una ridotta correlazione tra i valori di pre e post trattamento riabilitativo con bio-feedback, specialmente per il lato plegico.

Questo risultato potrebbe stare ad indicare che le modificazioni più importanti si sono attuate nel lato plegico, con un miglioramento dei parametri di gait analysis e una ridotta, più definita/ confinata attivazione cerebrale più vicina alle aree di attivazioni del soggetto di controllo.

L'analisi dei dati, la valutazione funzionale e la correlazione tra i parametri dell'analisi del movimento e dell'attività cerebrale sono stati quindi utilizzati allo scopo di identificare la possibile relazione tra il miglioramento dell'atto motorio e la capacità di riorganizzazione cerebrale a seguito del trattamento di BFB; questo diventa fondamentale per la valutazione longitudinale del recupero motorio in pazienti neurologici e per lo studio delle interazioni reciproche tra le mappe di attivazione e i parametri di movimento.

### 3- Bioingegneria del Movimento: **Utilizzo di Sensori Indossabili per la Stima del Punteggio nella Scala di Fugl-Meyer in Pazienti Post-Ictus.**

Questo lavoro è il frutto del mio periodo di mobilità trascorso al Department of Physical Medicine & Rehabilitatio dell'Harvard Medical School, nel laboratorio di Analisi del Movimento (Motion Analysis Lab- MAL), sotto la supervisione del Prof. Paolo Bonato.

Nel contesto della riabilitazione post-ictus, le scale di valutazione clinica per esaminare le abilità motorie nei pazienti post-ictus potrebbero essere utilizzate per individuare e programmare interventi di riabilitazione personalizzati e ad-hoc, con lo scopo di massimizzare il recupero motorio.

Purtroppo, queste scale non sono ampiamente utilizzate nella pratica clinica, perché la loro somministrazione è dispendiosa sia dal punto di vista economico che lunga in termini di tempo.

L'utilizzo di sensori indossabili potrebbe essere una possibile soluzione a questo problema. I dati dei sensori possono essere facilmente raccolti durante l'esecuzione di alcuni compiti motori.

Le features estratte dai dati dei sensori sono utilizzate come input a modelli costruiti e progettati per valutare la gravità dei deficit motori e delle limitazioni funzionali.

In un precedente lavoro è stato dimostrato che i dati dei sensori indossabili raccolti durante l'esecuzione di alcuni task del Wolf Motor Function Test (una scala clinica che serve a valutare le capacità funzionali) possono essere efficacemente utilizzati per stimare i punteggi ottenuti utilizzando la Function Ability Scale, una scala clinica che valuta le performance dei pazienti durante i task del Wolf Motor Function Test, focalizzandosi

sulla qualità del movimento.

Lo scopo dello studio qui presentato è stato quello di valutare se lo stesso set di dati possano essere utilizzati per stimare i punteggi clinici ottenuti utilizzando la Fugl-Meyer Scale, una scala di valutazione clinica incentrata sulle disabilità motorie dei pazienti e non sulla funzionalità motoria.

I risultati hanno mostrato che i punteggi del test di Fugl-Meyer possono essere stimati utilizzando il metodo delle Random Forest dando come input le features estratte dai dati dei sensori indossabili raccolti durante l'esecuzione di anche solo un singolo task del Wolf Motor Function Test.

Le stime degli score clinici della scala clinica di Fugl-Meyer, ottenute utilizzando il metodo proposto, hanno permesso di ottenere uno scarto quadratico medio di 4.7 punti.

Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore:

**Innovative Techniques for Biomechanical Evaluation of Stroke Survivors: Combined fMRI-Gait Analysis Assessment and Fugl-Meyer Clinical Scores Estimation Through Wearable Sensors.**

**Supervisore:** Dott. Chiara Dalla Man

### Parte 3 Pubblicazioni

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- Articoli pubblicati su Rivista
1. Silvia Del Din, Elena Carraro, Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto, Lara Bonaldo, Stefano Masiero, Claudio Cobelli. **Impaired gait in ankylosing spondylitis.** *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2011 Jan 13. (IF 1.757) *Med. Biol. Engineering and Computing*, Vol. 49, Nr. 7 (2011) , p. 801-809.
  2. Zimi Sawacha, Elena Carraro, Annamaria Guiotto, Silvia Del Din, Lara Bonaldo, Leonardo Punzi, Claudio Cobelli, Stefano Masiero. **Biomechanical assessment of balance and posture in subjects with ankylosing spondylitis.** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*: Sottomesso- in revisione
  3. Erika Giannotti, Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto , Elena Carraro, Silvia Del Din, Lara Bonaldo, Claudio Cobelli, Stefano Masiero. **The contribution of multisegment foot kinematics, kinetics, plantar pressure and electromyography analysis during gait in the treatment of Rheumatoid Arthritis deformed feet: a case-based review.** *Rheumatology*: Sottomesso-in revisione



4. Silvia Del Din, Shyamal Patel, Claudio Cobelli and Paolo Bonato **Estimating Fugl-Meyer Clinical Scores in Stroke Survivors Using Wearable Sensors.** (*Invited Paper*)  
IEEE EMBS, Pages: 5839-5842 ISBN: 9781424441228  
EMBC 2011 Conference (*Invited Paper*, Boston, August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup> 2011): accepted as invited presentation.
5. Marco Altini, Silvia Del Din, Shyamal Patel, Student Member, IEEE , Steven Schachter, Julien Penders and Paolo Bonato, Senior Member, IEEE **A Low-Power Multi-Modal Body Sensor Network with application to Epileptic Seizure Monitoring.**  
IEEE EMBS, Pages: 1806-1809 ISBN: 9781424441228  
EMBC 2011 Conference (Boston, August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup> 2011): accepted as presentation.

- Capitoli di Libri

1. Masiero S., Bonaldo L., Del Din S., Sawacha Z. **Aproccio Riabilitativo e gestione della disabilità.** Volume (Collana Reumatologia): Terapia farmacologica e non farmacologica delle malattie reumatiche: quali sinergie? Editor Giovanni Arioli, 2010; pp. 111-118.

- Abstract pubblicati su Rivista

1. S. Del Din, Z. Sawacha, E. Carraro, A. Guiotto, R. Guglielmin, L. Bonaldo, S. Cremonese, M. Sambini, S. Masiero, C. Cobelli. (2009) **Do patients with ankylosing spondylitis have altered gait and posture?** Gait & Posture, 30: S87-S87.
2. A. Guiotto, S. Del Din, E. Carraro, Z. Sawacha, G. Leopaldi, L. Baldi, R. Guglielmin, M. Sambini, S. Masiero, C. Cobelli. (2009) **Kinematics and Kinetics analysis of gait in Ankylosing Spondylitis subjects.** Gait & Posture, 30: S42-S42.
3. E. Carraro, Z. Sawacha, A. Guiotto, S. Del Din, R. Guglielmin, S. Masiero, C. Cobelli. (2009) **Abnormal activation of knee and ankle flexors-extensors is related to transmission changes in ankylosing spondylitis gait pattern?** Gait & Posture, 30: S38-S38.
4. E. Ceseracciu, Z. Sawacha, S. Del Din, S. Ceccon, S. Corazza, C. Cobelli. (2009) **Comparison of markerless and marker-based motion capture technologies through simultaneous data collection during gait.** Gait & Posture, 30: S14-S15.

5. Z. Sawacha, E. Carraro, A. Guiotto, S. Del Din, S. Masiero, C. Cobelli. (2009) **On the Relationship between body sway and body kinematics during standing balance in Ankylosing Spondylitis subjects**. Gait & Posture, 30: S11-S12.
6. S. Del Din, Z. Sawacha, E. Carraro, A. Guiotto, L. Bonaldo, R. Guglielmin, M. Sambini, L. Punzi, S. Masiero, C. Ferraro, C. Cobelli. (2009) **Analisi dell'equilibrio e della postura in soggetti affetti da Spondilite Anchilosante**. Reumatismo, 61, Volume Speciale 1 (SI): 460-460.
7. E. Carraro, Z. Sawacha, S. Del Din, F. Spolaor, A. Guiotto, A. R. Gravina, R. Guglielmin, C. Cobelli, S. Masiero. **Abnormal activation of knee and ankle flexors-extensors is related to altered gait in ankylosing spondylitis?** European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 46, Suppl. 1, n° 2: 105.  
Winner of the BTS Bioengineering/SIMFER Award for the best scientific contribution on the evaluated functional analysis of the movement applied to the rehabilitation through robotic instruments.
8. E. Carraro, Z. Sawacha, A. Guiotto, P. Contessa, S. Del Din, C. Cobelli, S. Masiero. **Correlation between clinical and laboratory measures in chronic stroke subjects** European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 46, Suppl. 1, n° 2: 105.
9. S. Del Din, E. Carraro, Z. Sawacha, A. R. Gravina, L. Punzi, S. Masiero, C. Cobelli. **Relationship between gait and posture in ankylosing spondylitis subjects** Ann Rheum Dis 2010; 69 (Suppl3): 696.
10. Silvia Del Din, Alessandra Bertoldo, Zimi Sawacha, Marco Rabuffetti, Marcella Laganà, Johanna Jonsdottir, Francesca Baglio, Marco Rovaris, Claudio Cobelli, Maurizio Ferrarin. (2011) **Combined analysis of fMRI and gait analysis data for evaluating biofeedback rehabilitation in post-stroke patients**. Gait & Posture, 33, Supplement 1:S10-S11.

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- Abstract e Extended Abstract in Proceedings
1. Silvia Del Din, Elena Carraro, Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto, Aristide Gravina, Roberta Guglielmin, Stefano Masiero, Claudio Cobelli **Posture and gait analysis in Ankylosing Spondylitis: A Case Study**. Atti del congresso JEGM (Miami, Florida 12-15 May 2010) pp. 370-371.

2. Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto, Chiara Fassina, Elena Carraro, Silvia Del Din, Aristide Gravina, Stefano Masiero, Claudio Cobelli. **Simultaneous multisegment foot kinematics kinetics and plantar pressure analysis in rheumatoid arthritis**. Atti del Congresso JEGM (Miami, Florida 12-15 May 2010) pp. 288-289.
3. Silvia Del Din, Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto, Elena Carraro, Aristide Gravina, Stefano Masiero, Claudio Cobelli. **Characterizing multisegment foot kinematics, kinetics and plantar pressure during gait of severely deformed feet in Rheumatoid Arthritis: a case study**. Proceedings - IFAB (2nd Congress of the International Foot and Ankle Biomechanics Community, Seattle 16-18 September, 2010)
4. Silvia Del Din, Alessandra Bertoldo, Zimi Sawacha, Marco Rabuffetti, Marcella Laganà, Johanna Jonsdottir, Francesca Baglio, Marco Rovaris, Claudio Cobelli, Maurizio Ferrarin. **Assessment of biofeedback rehabilitation in post-stroke patients: a combined fMRI and gait analysis study**. Atti della Conferenza GCMAS 2011 (Bethesda, Maryland, April 26-29 2011) pp. 375-376.
5. F. Spolaor, V. Agostini, Z. Sawacha, PhD, S. Del Din, G. Guarneri, S. de Kreutzenberg, A. Avogaro, M. Knaflitz, C. Cobelli **Evaluation of muscle fatigue during treadmill walking in patients with type 2 diabetes and peripheral vasculopathy**. Atti della Conferenza GCMAS 2011 (Bethesda, Maryland, April 26-29 2011) pp. 164-165.
6. Silvia Del Din, Shyamal Patel, Claudio Cobelli and Paolo Bonato **Estimating Fugl-Meyer Clinical Scores in Stroke Survivors Using Wearable Sensors**. EMBC 2011 Conference (Boston, August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup> 2011): accettato come presentazione orale: invited session.
7. Marco Altini, Silvia Del Din, Shyamal Patel, Student Member, IEEE , Steven Schachter, Julien Penders and Paolo Bonato, Senior Member, IEEE **A Low-Power Multi-Modal Body Sensor Network with application to Epileptic Seizure Monitoring**. EMBC 2011 Conference (Boston, August 30<sup>th</sup> - September 3<sup>rd</sup> 2011): accettato come presentazione orale.

Elenco pubblicazioni su rivista nazionale

- Capitoli di Libri
- Masiero S., Bonaldo L., Del Din S., Sawacha Z. **Aproccio Riabilitativo e gestione della disabilità**. Volume (Collana Reumatologia): Terapia farmacologica e non farmacologica delle malattie reumatiche: quali sinergie? Editor Giovanni Arioli, 2010; pp. 111-118.

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

1. Silvia Del Din, Zimi Sawacha, Elena Carraro, Annamaria Guiotto, Lara Bonaldo, Fabiola Spolaor, Stefano Masiero, Claudio Cobelli. **Do patients with ankylosing spondylitis have altered gait and posture?** Atti del Congresso GNB (Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, Italy 8-10 Luglio 2010) p. 209.
2. Silvia Del Din, Alessandra Bertoldo, Zimi Sawacha, Marco Rabuffetti, Maurizio Ferrarin, Marcella Laganà, Johanna Jonsdottir, Francesca Baglio, Marco Rovaris, Claudio Cobelli. **fMRI analysis of brain activation during ankle dorsi/plantarflexion in post-stroke patients: a case study.** Atti del congresso GNB (Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, Italia 8-10 Luglio 2010) p. 475.
3. Silvia Del Din, Zimi Sawacha, Annamaria Guiotto, Fabiola Spolaor, Roberta Guglielmin, Elena Carraro, Aristide Roberto Gravina, Mariangela Sambini, Erika Giannotti, Stefano Masiero, Claudio Cobelli. **Gait and posture in ankylosing spondylitis subjects.** Abstract book del V Congresso Nazionale (Mantova 6-9 Ottobre 2010): Terapia farmacologica e non farmacologica delle malattie reumatiche: quali sinergie? Editor Giovanni Arioli, 2010; p. 10
4. Silvia Del Din, Shyamal Patel, Claudio Cobelli and Paolo Bonato. **Exploiting Wearable Technology to estimate Fugl-Meyer Clinical Scores in Stroke Patients.** Accettato come Presentazione Poster al XII Congresso SIAMOC (28 Settembre- 1 Ottobre 2011, Bosisio Parini - Lecco).

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Del Din Silvia** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Guerra Stefania** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

## Parte 1 Didattica

### Corsi seguiti

Positron Emission Tomography (PET), 3 CFU  
Dose, Effect, Threshold, 3CFU  
Applied Linear Algebra, 4 CFU  
Identification Techniques, 5 CFU  
Statistical Methods, 6 CFU  
Analisi dei Sistemi  
Project Management

### Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

Filtering, Data Analysis and Optimization of Uncertain Systems, 28-30 settembre 2009, Politecnico di Milano

### Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

*Robustness in Biological Networks: From Genes to Cells to Systems*, Francis J. Doyle III (DEI,2009)  
*What if we lived in a non integer dimensional world?* Sylvie Paycha (MATH,2009)  
*Filosofia della matematica e matematica della filosofia*, Piergiorgio Odifreddi (DEI, 2010)

### Partecipazione a Conferenze Nazionali

1. Primo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Pisa, 2008
2. Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, 2010

### Partecipazione a Conferenze Internazionali

1. World Congress 2009 - Medical Physics and Biomedical Engineering (Munich, 7-12 September 2009), Oral
2. Diabetes Technology Meeting 2009 (San Francisco, CA, Novembre 2009), Poster

3. 3rd conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes (Basilea, Svizzera, Febbraio 2010), Poster
4. Diabetes Technology Meeting 2010 (Bethesda, MA, Novembre 2010), Poster
5. 4th conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes (Londra, UK, Febbraio 2011), Poster
6. Diabetes Technology Meeting 2011 (San Francisco, CA, Ottobre 2011), Poster

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

Supporto in Laboratorio Informatica Medica anno 2008-09 (20 ore di esercitazione e supporto alle prove di esame)

Supporto al corso di Informatica Medica anno 2009-10 (Tutor Junior, 40 ore di esercitazione e supporto alle prove di esame)

Supporto al corso di Modelli e Controllo dei Sistemi Biologici anno 2009-10

Supporto al corso di Informatica Medica anno 2011-12 (Tutor Junior, 30 ore di esercitazione e supporto alle prove di esame)

#### **Permanenza all'estero**

Agosto-Settembre 2010 – Exchange Scholar presso University of California at Santa Barbara, Department of Chemical engineering, laboratorio del Prof. Francis Doyle III.

## **Parte 2 Ricerca**

### **Metodologie di analisi di dati nella terapia del diabete**

Il diabete è una patologia caratterizzata da deficit nella produzione ed efficienza dell'insulina; questa patologia sta assumendo proporzioni epidemiche con una previsione per il 2030 di circa 366 milioni di malati. La terapia standard per il diabete di tipo 1 prevede essenzialmente la somministrazione di insulina esogena, stabilito sulla base di poche misure di glicemia plasmatica (self monitoring blood glucose) che il paziente esegue giornalmente. Il gruppo di Bioingegneria del DEI è coinvolto in diversi progetti che mirano all'ottimizzazione della terapia.

Progetti di Ricerca in cui sono stata coinvolta:

- Artificial Pancreas Consortium, Juvenile Diabetes Research Foundation USA 2006-09
- Contratto di Collaborazione con Dexcom Inc.
- EU AP@Home, 7FP, 2010-14
- EU DIAdvisor, 7FP, 2008-12.

In questi progetti la mia attività di ricerca è stata rivolta ai seguenti temi:

1. Realizzazione di algoritmi per **smart sensor CGM**, in particolare calibrazione per il miglioramento dell'accuratezza di segnali CGM per il monitoraggio continuo della glicemia. In particolare è stato sviluppato un algoritmo di calibrazione online basato su deconvoluzione.
2. Definizione di un **concetto di rischio clinico** legato al valore attuale di glicemia e al trend del segnale. In questo contesto è stata sviluppata una funzione di rischio dinamico che si è dimostrata utile in due principali aree: la generazione di alerts preventivi per l'ipo e l'iperglicemia, e l'ampliamento del concetto di variabilità glicemica e qualità del controllo che comprendano la rapidità del segnale glicemico come fattore di variabilità.
3. **Modellistica del sistema glucosio insulina**: parte del lavoro di ricerca è stato volto all'identificazione di parametri di modelli minimi a partire da dati di glicemia e insulinemia. In particolare si è identificato un modello minimo orale nei soggetti diabetici, e si sono implementati modelli fisiologici in grado di fornire una predizione della Rate of Appearance del glucosio nel plasma in seguito ad un pasto.

1. **Smart CGM sensor**: Il lavoro nell'ambito di questo progetto è stato individuare, analizzare e correggere alcune possibili fonti di inaccuratezza del segnale CGM. In particolare, dallo studio diversi dataset acquisiti nell'ambito del progetto DIAdvisor è emerso il problema fondamentale della ricalibrazione online dei sensori: da una misura di corrente, tramite un algoritmo di calibrazione interno al device è ricostruita una stima della glicemia interstiziale: tale procedura si è rivelata spesso subottima. Inoltre, sono state riscontrate perdite di sensitività del sensore dopo qualche giorno di utilizzo. Cruciale in queste procedure risulta essere il fatto che i sensori per il monitoraggio in continuo della glicemia sono siti nell'interstizio e danno quindi una misura della glicemia interstiziale, mentre le references usate per la traduzione della corrente in misura di glicemia tramite self monitoring blood glucose (SMBG) sono riferiti alla glicemia plasmatica. Le due misure (interstiziale e plasmatica) differiscono a causa della presenza di un processo diffusivo generalmente modellato come un filtro passa-basso. La presenza di questo sistema dinamico non viene considerata da tecniche di calibrazione di letteratura, che risultano essere subottime e poco robuste, specialmente nel caso in cui i riferimenti siano presi in condizioni dinamiche (fronti di salita) dove la differenza tra concentrazioni interstiziali e plasmatiche è massima a causa di distorsione e delay indotti dal processo diffusivo. Nel primo anno di dottorato, si è iniziato lo sviluppo di un algoritmo di calibrazione online basato su deconvoluzione non parametrica in contesto stocastico, che permette di ottenere una ricostruzione affidabile del profilo plasmatico a partire dal segnale interstiziale tramite regolarizzazione. Questo profilo è poi comparato alle references plasmatiche. L'algoritmo è stato brevettato [22–23]. Analisi di robustezza rispetto a parametri del modello usato per il processo di deconvoluzione, e al rumore sulle references sono state eseguite in simulazione e presentate a diverse conferenze internazionali [9, 10, 21, 18]. Un paper su questo lavoro è attualmente in seconda revisione (IEEE TBME [5]). Analisi su dati reali sono state eseguite su diversi tipi di sensori (Dexcom Seven Plus e Abbott Freestyle Navigator). Nell'ambito del progetto

europeo AP@home si è lavorato alla stesura di un protocollo clinico per la valutazione dell'algoritmo di calibrazione. 12 soggetti sono stati studiati in 4 centri in Europa secondo il protocollo proposto, e risultati preliminari sulle performances dell'algoritmo sono stati presentati in [16], Infine, questo algoritmo è in questi giorni oggetto di verifica da parte di Dexcom Inc., casa produttrice di sensori, che ha siglato un contratto di collaborazione con l'università di Padova al fine di testare questa ed altre tecnologie per un possibile futuro impiego in prototipi di nuove generazioni di sensori.

**2. Nuovo Concetto di rischio clinico:** Tema centrale del percorso di ricerca, è stato lo studio di segnali CGM in ottica di rischio clinico, lavorando ad una evoluzione di indici clinici di rischio presenti in letteratura affinché sia considerata anche la dinamica (in termini di derivata) del segnale CGM. L'elaborazione del concetto di rischio clinico, si è concretizzata nella costruzione di una funzione rischio che include l'informazione della derivata. Questo lavoro è stato presentato a una conferenza internazionale [12], una nazionale [20] e in un paper accettato dalla rivista Diabetes Technology and Therapeutics [3] L'implementazione di questa funzione online è particolarmente critica, in quanto richiede l'impiego di algoritmi particolari per la stima della derivata del segnale CGM. Il problema è stato affrontato utilizzando tecniche di deconvoluzione online che consentono la stima simultanea della derivata e di una versione smooth del segnale CGM. La funzione è stata testata in ambito di predizione, in quanto risulta essere intrinsecamente predittiva degli attraversamenti soglia. Diverse configurazioni della funzione Rischio Dinamico sono state testate, basate su esponenziale, arcotangente e tangente iperbolica. Le funzioni consentono di ottenere un anticipo nella generazione dell'allarme di attraversamento soglia di circa 11 minuti. Infine, in contesto di predizione, si sono testate soluzioni che combinano la valutazione del rischio dinamico con algoritmi per la short-term prediction basate su filtro di Kalman. In questo caso, aumentando minimamente il numero di falsi allarmi, si sono ottenuti anticipi di 25 minuti in media su dati di simulazione. I primi risultati sono stati riassunti in un lavoro accettato ad una conferenza internazionale [17]. La possibilità di generare allerte tramite rischio dinamico, in combinazione o meno con filtri di Kalman o algoritmi di predizione di letteratura, è stata da noi recentemente brevettata negli stati uniti [24].

La funzione rischio dinamico è stata poi usata per la costruzione di uno spazio di rischio dinamico, ovvero per costruire un diagramma delle fasi pesato in funzione del rischio clinico. Sono state analizzate delle traiettorie dei segnali CGM in questo spazio al fine di sviluppare degli indici che valutino la qualità del controllo nei soggetti diabetici e per dare indicazioni su eventuali modifiche della terapia open-loop seguita dai pazienti. Questi indici sono stati affiancati agli indici attualmente utilizzati in letteratura per la definizione della variabilità glicemica. La maggior parte di questi indici è fortemente correlata e non c'è accordo su quali indici o combinazioni di indici siano i migliori per definire la variabilità. I primi risultati sono stati presentati ad una conferenza internazionale [14] Per dare robustezza statistica all'uso di indici che considerino anche la derivata come fattore di variabilità, gli indici sono stati calcolati a partire da 50 segnali glicemici CGM raccolti nel protocollo DAQ Trial del progetto DIAAdvisor, e si è eseguita una analisi multivariata tramite Sparse Principal Component Analysis. Tale analisi ha



dimostrato che gli indici basati su rischio dinamico, che considerano esplicitamente la derivata del segnale glicemico, risultano essere cruciali al fine di spiegare la variabilità del dataset preso in considerazione. I risultati sono stati presentati in [15] ad una conferenza internazionale.

**3. Modellistica del Sistema Glucosio-Insulina:** In collaborazione con la Dottoressa Chiara Dalla Man si è studiata l'identificazione di un modello per la stima di parametri fisiologici sui dati raccolti durante i clinical trial (90 soggetti) nel progetto DIAdvisor 7FP, 2008-11. In questo la ricerca è stata finalizzata all'analisi delle variabilità circadiane di tali parametri.

Durante il secondo di attività di ricerca si è proseguito il lavoro di identificazione di modelli fisiologici sfruttando i dati di glucosio e insulina raccolti nel primo trial clinico nei centri di Montpellier, Padova e Praga. In particolare, ho identificato il modello minimo orale in soggetti diabetici, lavoro presentato come Oral presentation in [8]. Inoltre su richiesta dei partner del progetto che si occupano dello sviluppo di algoritmi di predizione (Università di Lund, Svezia), si sono resi necessari lo sviluppo e l'implementazione di modelli fisiologici in grado di fornire una predizione della Rate of Appearance del glucosio nel plasma in seguito ad un pasto [13]. L'output di questi modelli viene sfruttato da algoritmi di predizione della glicemia attualmente implementati nel primo prototipo di advisor che è testato in questi mesi nella seconda fase di trial clinici del progetto. I modelli per la simulazione della Rate of Appearance del glucosio dopo un pasto sono anche utilizzati da algoritmi di predizione della glicemia basati su Neural Network sviluppati da Chiara Zecchin, dottoranda del gruppo di Bioingegneria. L'uso di questi "generatori" si è rivelata essere molto importante per migliorare le performances delle reti neurali per ottenere una buona predizione della glicemia. Infine, su richiesta dei partner che si occupano di controllo, è stato sviluppato un modello a sei stati del sistema glucosio-insulina da usare in un controllore MPC [11].

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

*Titolo:* Clinical risk measure for variability analysis and real-time prevention of hyper/hypo-glycaemic episodes from continuous glucose monitoring time-series.

*Supervisore:* Prof. Giovanni Sparacino

## **Parte 3 Pubblicazioni**

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

- 1) Bruttomesso D., Farret A., Costa S., Marescotti M.C., Vettore M., Avogaro A., Tiengo A., Dalla Man C., Place J., Facchinetti A., Guerra S., Magni L., De Nicolao G., Cobelli C., Renard E. and Maran A Closed-Loop Artificial Pancreas Using Subcutaneous Glucose Sensing and Insulin Delivery and a Model Predictive Control Algorithm: Preliminary Studies in Padova and Montpellier,. Journal of Diabetes Science and Technology, Volume 3, Issue 5, September 2009

- 2) Vigili de Kreutzenberg S., Fadini G.P., Boscari F., Rossi E., Guerra S., Sparacino G., Cobelli C., Ceolotto G., Bottero M., Avogaro A, Impaired hemodynamic response to meal intake in insulin-resistant subjects: an impedance cardiography approach,. American Journal of Clinical Nutrition, Volume 93, Issue 5, pp. 926-33, 2011
- 3) Guerra S., Sparacino G., Facchinetti A., Schiavon M., Dalla Man C., and Cobelli C., New Dynamic Risk measure from Continuous Glucose Monitoring Data, Diabetes Technology and Therapeutics, Volume 13, Issue 8, pp. 843-52, 2011
- 4) Guerra S., Boscari F., Avogaro A., Sparacino G., De Kreutzenberg S. Hemodynamic Assessed via Approximate Entropy Analysis of Impedance Cardiography Time-Series: Effect of Metabolic Syndrome, American Journal of Physiology Heart and Circulatory, Volume 301, Issue 2, pp. H592-598
- 5) Guerra S., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G., Cobelli C. Enhancing the Accuracy of Subcutaneous Glucose Sensors: A Real-time Deconvolution-based Approach, Submitted to IEEE Transactions on Biomedical Engineering

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

- 6) Thomaseth K., Guerra S., Tramontan L., A minimal model of insulin secretion in vivo: Reappraisal of the threshold distribution hypothesis, 2007 International Conference on Health Science Simulation (ICHSS '07), San Diego CA, January 2007
- 7) Kovatchev B., Anderson S., Breton M., Patek S., Bruttomesso D., Maran A., Costa S., Avogaro A., Magni L., Raimondo D.M., De Nicolao G., Dalla Man C., Facchinetti A., Guerra S., Cobelli C., Personalized Subcutaneous Model-Predictive Closed-Loop Control of T1DM: Pilot Studies in the USA and Italy, American Diabetes Association, New Orleans, Louisiana, 5-9 June, 2009
- 8) Guerra S., Dalla Man C., Sparacino G., Renard E., and Cobelli C., The oral glucose minimal model in type 1 diabetes: an ingredient of DIAdvisor™, World Congress 2009 - Medical Physics and Biomedical Engineering, Munich, 7-12 September 2009.
- 9) Guerra S., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G. and Cobelli C., Comparison of Four Methods for On-Line Calibration of CGM Data, Diabetes Technology Meeting 2009, San Francisco, CA, 4-8 November 2009
- 10) Guerra S., Facchinetti A., Prendin A., Sparacino G. and Cobelli C., New Method for Recalibration of CGM Time-series: Performance and Robustness assessed by Simulation, 3rd International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, Basel, 10-13 February 2010
- 11) Dalla Man C., Guerra S., Sparacino G., Renard E. and Cobelli C., A Six States In-Silico Model of Type 1 Diabetes, 3rd International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, Basel, 10-13 February 2010
- 12) Guerra S., Facchinetti A., Schiavon M., Dalla Man C., Sparacino G., A New Dynamic Glucose Risk Function for Continuous Glucose Monitoring Time Series, 3rd International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, Basel, 10-13 February 2010

- 13) S. Guerra, C. Dalla Man, G.Sparacino, E.Renard, A. Avogaro, A.Maran, C.Cobelli, Glucose Rate of Appearance and Plasma Insulin Concentration Models for Use in Prediction Algorithms, Diabetes Technology Meeting 2010, Bethesda, MA, 15-19 November 2010
- 14) Guerra S., Sparacino G., Facchinetti A., Maran A., Cobelli C., Dynamic Risk Space of CGM Time-Series: Assessment of Quality of Glucose Control, 4th International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, London, UK, 16-19 February 2011
- 15) Guerra S., Zanon M., Maran A., Sparacino G., Cobelli C., Parsimonious description of Glucose Variability investigated by a Sparse PCA Approach, Diabetes Technology Meeting 2011, San Francisco, CA, 27-29 October 2011
- 16) Guerra S., Facchinetti A., Bruttomesso D., Luijf Y.M., Ellmerer M., Mader J.K., Heinemann L., Benesch C., Cobelli C., AP@home Consortium, Accuracy of Continuous Glucose Monitoring Enhanced Online via a Deconvolution-based Algorithm, Diabetes Technology Meeting 2011, San Francisco, CA, 27-29 October 2011
- 17) Guerra S., Facchinetti A., Sparacino G., Cobelli C., Dynamic Risk Hypoalert Generation from CGM Signals, Submitted to the 5th International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, Barcelona 2012
- 18) A. Facchinetti, S. Guerra, G. Sparacino, C. Cobelli, on behalf of AP@home Consortium, Algorithms for Smart CGM Sensor: the AP@home Project Experience, Submitted to the 5th International Conference on Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, Barcelona 2012

#### **Elenco pubblicazioni su rivista nazionale**

-

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

- 19) Guerra S., Sparacino G., de Kreutzenberg S., Avogaro A., Cobelli C., Approximate Entropy analysis of Impedance cardiography time-series in different degrees of insulin sensitivity, Congresso Nazionale di Bioingegneria, Pisa, Italy, July 2008
- 20) Guerra S., Facchinetti A., Schiavon M., Dalla Man C., Sparacino G., A New Online Algorithm for Evaluating the Clinical Risk in Diabetic Patients from Continuous Glucose Monitoring Data, Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, Italy, 8-10 July 2010
- 21) Facchinetti A., Guerra S., Sparacino G., Cobelli C., Toward a Smart Continuous Glucose Monitoring Sensor: On-Line Algorithms for Recalibration, Filtering, and Prediction, Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino, Italy, 8-10 July 2010

#### **Brevetti**

#### **RECALIBRATION**

- 22) US provisional patent application No. 61/257,288 filed on November 2, 2009, Method to Recalibrate Continuous Glucose Monitoring Data On-Line, Guerra S., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G., Cobelli C.
- 23) Method to Recalibrate Continuous Glucose Monitoring Data On-Line. Guerra S., Facchinetti A., Sparacino G., De Nicolao G., Cobelli C., International patent application, International Bureau of the World Intellectual Property Organization, Geneva. Official Filing number: PCT/IB2010/054947

DYNAMIC RISK FOR ALERT GENERATION

- 24) US provisional patent application submitted on October 20, 2011, ESF ID 11273595, No 61/551,773 Alert System for Hypo and Hyperglycemia Prevention based on Clinical Risk associated to Glucose Level and Trend for Diabetes-related Applications, Guerra S., Facchinetti A., Schiavon M., Sparacino G., Cobelli C.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Guerra Stefania** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dottor **Lovisari Enrico** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### Attività di formazione

#### Corsi specifici per studenti di Dottorato offerti presso l'Università di Padova

Corso offerto	Docente
Nonlinear feedback systems	Byrnes
Codes, graphical models, distributed algorithms	Fagnani
Applied Linear Algebra	Wimmer, Damm
Dynamical models in system biology	Altafini
Statistical Methods	Finesso
Computation of Game and Market Equilibria (solo seguito)	Codenotti

Tabella 1: elenco dei corsi seguiti durante il primo anno offerti presso l'Università di Padova.

Corso offerto	Docente
Subspace Techniques for the Identification of Linear Systems (solo seguito)	Picci
Adaptive control (solo seguito)	Serrani

Tabella 2: elenco dei corsi seguiti durante il primo anno offerti presso l'Università di Padova.

#### Corsi seguiti all'interno di Corsi di Laurea Specialistica presso l'Università di Padova

È stato seguito il corso Meccanica Analitica, tenuto dal prof. G. Benettin, per il Corso di Laurea Specialistica in Matematica, secondo semestre A.A. 2009/2010.

**Corsi seguiti presso altre istituzioni**

É stato seguito il corso Noncooperative Game Theory, tenuto dal prof. J. Hespanha, presso UCSB, Fall 2009.

**Partecipazione a scuole**

L'elenco delle scuole di dottorato a cui si è partecipato è riassunto in tabella 3.

scuola	data	luogo
CIME, "mathematical foundations of complex networked information systems"	22-26/6/2009	Verres (AO)
WIDE, "school on networked control systems"	7-10/7/2009	Siena
"Intensive Course on Distributed Optimization"	08-13/2/2010	KTH, Stockholm, Sweden

Tabella 3: elenco delle scuole di dottorato seguite durante il triennio.

**Altri seminari seguiti**

L'elenco di alcuni dei seminari seguiti durante il dottorato è riassunto in tabella 4.

Titolo seminario	Relatore	Data	Luogo
Robust synchronization of multiple agents with uncertain dynamics	Kiyotsugu Takaba	06/09/11	Padova
Large Population Consensus in an Adversarial Environment	Dario Bauso	14/07/11	Padova
Adaptive Feedforward Compensation of Harmonic Disturbances for Convergent Nonlinear Systems	Andrea Serrani	13/05/11	Padova
What are moment problems and why are they useful in systems and control?	Anders Lindquist	28/01/11	Padova
Improved vertex control for time-varying linear discrete-time systems with state and control constraints	Per-Olof Gutman	12/11/10	KTH, Stockholm, Sweden
Two Approaches to Sampled-Data Control Systems: Analysis Based on Passivity and a Robust Linear Matrix Inequality	Yasuaki Oishi	05/11/10	KTH, Stockholm, Sweden

Exploration of Kinematic Optimal Control on the Lie Group $SO(3)$	Alessandro Saccon	07/09/10	Padova
Nonlinear Filtering -- Unscented Kalman filtering with SVD	Torhu Katayama	06/09/10	Padova
Bias Correction in Localization Algorithms	Yiming Ji	31/08/10	Padova
An Overview on F-Lipschitz Optimization with Wireless Networks Applications	Carlo Fischione	21/07/10	Padova
Research on Motion Control in the University of Tokyo Electric Vehicle, Nano-scale servo, and Human-friendly Robotics	Hiroshi Fujimoto, Koichi Sakata, Sehoon Oh	01/08/10	Padova
Wind Integration -- By All Means Available	Kameshwar Poolla	24/06/10	Padova
Optimal Control on Non-Compact Lie Groups: A Projection Operator Approach	Alessandro Saccon	24/05/10	Padova
Condizioni per la dicotomia esponenziale e sue applicazioni al tracking esatto per i sistemi non lineari a fase non minima	Luca Consolini	23/11/09	Padova
Consensus and cooperation in multi-agent dynamical systems	Shinji Hara	11/05/09	Padova

Tabella 4: elenco di alcuni seminari seguiti durante il triennio.

### Partecipazione a Conferenze Nazionali e Internazionali

La partecipazione è riassunta in tabella 5 (pagina 4).

Evento	Tipologia	Luogo
Mathematical Theory of Networks and Systems	MTNS'10	Budapest (HUN)
1st IFAC Workshop on Estimation and Control of Networked Systems	IFAC NecSys'09	Venice (ITA)
2st IFAC Workshop on Estimation and Control of Networked Systems	IFAC NecSys'10	Annecy (FR)
“FeedNetBack” Meeting	Progetto Europeo	Padova

Tabella 5: elenco delle conferenze nazionali e internazionali a cui si è partecipato.

### **Periodi di Attività all'Estero**

UCSB, California, USA, 1 mese (Settembre-Ottobre 2009)

KTH-Stoccolma, Svezia, 20 giorni (Febbraio 2010) e 5 mesi (Settembre 2010-Febbraio 2011).

### **Riconoscimenti**

Nessuno.

### **Didattica Attiva**

Nessuna.

### **Attività di ricerca**

#### **Descrizione**

Il primo anno di dottorato è stato prevalentemente dedicata all'attività didattica e alla preparazione di un solido background di Teoria dei Grafi e Catene di Markov. A partire dalla visita presso UCSB è stata avviato il filone di analisi dei protocolli di consensus. Utilizzando alcune idee già presenti in letteratura, ci si è concentrati su un particolare indice di costo quadratico per algoritmi di consensus. Esso è stato riscritto, nel caso particolare di protocolli simmetrici, in funzione della resistenza effettiva media su un grafo opportuno.

Il secondo anno di dottorato è stato speso proseguendo lungo tale linea di ricerca. Sfruttando noti risultati, è stato possibile dimostrare che, per una classe di grafi geometrici, tale indice di costo, come funzione della dimensione del grafo, dipende solo dalla dimensione dello spazio in cui sono disegnati. Inoltre, esso è stato parzialmente esteso ad una più ampia classe di matrici, dette reversibili. Per concludere, simili risultati sono stati ottenuti, per la stessa classe di grafi, considerando come indice di costo il rate di convergenza verso

il consenso. Durante il soggiorno presso il KTH, Stoccolma, inoltre, è stato avviato il secondo filone di ricerca. In particolare, sono stati proposti numerosi risultati utili per la sintesi di reti di agenti eterogenei modellati come sistemi nominali perturbati. Sono stati forniti strumenti per determinare se gli agenti di tale rete possono sincronizzarsi lungo modi caratteristici del sistema nominale, in una ottica prevalentemente input/output. Durante il terzo anno di dottorato è stata completamente dimostrata la caratterizzazione



dell'indice quadratico per la famiglia di matrici reversibili. Un terzo filone di ricerca è stato inoltre avviato, studiando il problema della calibrazione di una rete di telecamere distribuite su un piano e soggette a misure rumorose. Tale problema, per cui sono stati proposti due differenti algoritmi, è reso complicato dal fatto che il consenso deve essere raggiunto sulla varietà non euclidea  $S^1$ , e dunque il classico algoritmo di consensus non funziona.

Titolo definitivo della tesi: Synchronization algorithms for multi-agent systems:  
Analysis, Synthesis and Applications  
Supervisore: Sandro Zampieri

### Publicazioni

- E. Lovisari, S. Zampieri. Performance metrics in the average consensus problem: a tutorial. *Annual Reviews in Control*, 2012.
- D. Borra, E. Lovisari, R. Carli, F. Fagnani, S. Zampieri. Autonomous Calibration Algorithms for Networks of Cameras. *Proc. of ACC'11*, 2011 (submitted).
- E. Lovisari, U. T. Jönsson. A Framework for Robust Synchronization in Heterogeneous Multi-Agent Networks. *Proc. of CDC'11*, 2011.
- E. Lovisari, S. Zampieri. Performance metrics in the consensus problem: a Survey. *Proc. of SSSC'10*, 2010.
- E. Lovisari, U. T. Jönsson. A Nyquist criterion for synchronization in networks of heterogeneous linear systems. *Proc. of NecSys'10*, 2010.
- E. Lovisari, F. Garin, S. Zampieri. A resistance-based approach to performance analysis of the consensus algorithm. *Proc. of CDC'10*, 2010.
- E. Lovisari, F. Garin, S. Zampieri. A resistance-based approach to consensus algorithm performance analysis. *Proc. of MTNS'10*, 2010.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Lovisari Enrico** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Montecchio Nicola** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### **Parte 1 Didattica**

#### Corsi seguiti

- Applied Functional Analysis
- Applied Linear Algebra
- Computation of Game and Market Equilibria
- Statistical Methods

#### Partecipazione a scuole per dottorandi

- European Summer School in Information Retrieval (ESSIR) 2009, Padova.

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

- varie Distinguished Lectures al DEI
- seminari settimanali di R&D durante il periodo di formazione all'estero (Ircam), Settembre 2010 - Maggio 2011, Parigi
- seminari interni al gruppo IMS

#### Partecipazione a Conferenze Nazionali

- Colloqui di Informatica Musicale (CIM) 2008 (Venezia)
- Italian Research Conference on Digital Libraries (IRCDDL) 2009 (Padova)
- XI Settimana di Alti Studi Rinascimentali 2009 (Ferrara)
- IRCDDL 2010 (Padova)

#### Partecipazione a Conferenze Internazionali

- International Society for Music Information Retrieval conference (ISMIR) 2009 (Kobe, JP)
- Workshop on Exploring Musical Information Spaces (WEMIS) / European Conference on Digital Libraries (ECDL) 2009 (Corfù, GR)
- ISMIR 2010 (Utrecht, NL)

- International Conference on Audio Speech and Signal Processing (ICASSP) 2011 (Praga, CZ)
- Workshop MusiCLEF presso Cross Language Evaluation Forum (CLEF) 2011 (Amsterdam, NL)
- ISMIR 2011 (Miami, FL US)

Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

- TA per il corso “Fondamenti di Informatica” – facoltà di Lettere.

Permanenza all'estero

- Settembre 2010 - Maggio 2011: IRCAM (*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique, Parigi, FR*)

## Parte 2 Ricerca

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

In recent years the overwhelming availability of large multimedia collections has posed increasingly challenging research problems regarding the organization and access of data. A general consensus has been reached asserting the need for Information Retrieval (IR) tools which move beyond metadata-based techniques and exploit directly the information contained in the media. At the same time, interaction with the content itself has surpassed a passive enjoyment paradigm. This is particularly true in the arts domain, and it has given rise to the demand for advanced control and manipulation options.

The aim of this research is to investigate techniques for the problems of multimedia data identification and alignment. The focus is directed towards music audio streams and gesture-capture time series -- both cases of low-dimensional signals evolving in time -- and a particular attention is posed to the efficiency of the proposed approaches, namely the scalability of identification and the real-time applicability of alignment algorithms.

The concept of media alignment refers to the ability of an automatic computer system to identify and match significant events in related time series. The alignment of music signals with a symbolic score has been the object of research for almost three decades: given a recording of a music performance and a symbolic representation of its score (defined as a sequence of musical events) the aim is to match each sample of the audio stream with the musical event it corresponds to, or, equivalently, to find the onset time of each score event in the audio signal. A special interest has always resided in the real-time variant of the problem because of its immediate application to systems for the automatic accompaniment of human players by the computer.

The alignment of audio recordings of music to their symbolic representations was used as

a starting point to explore different methodologies based on statistical models; using a Hidden Markov Model-based system as baseline, its performances were improved in terms of accuracy and flexibility using Sequential Montecarlo Inference methods. The approach presents a unified methodology for the real time alignment of audio to both a symbolic score and an audio reference; its advantages, besides the powerful statistical framework and inherent simplicity of the algorithm, are twofold: unlike most systems, tempo is an explicit parameter within the stochastic framework defined through motion equations; moreover, both symbolic and audio alignment problems can be formulated within the same framework by exploiting a continuous representation of the reference.

A novel application of these technology was found in the domain of recording production by making use of audio alignment techniques to automatically align multiple takes of excerpts of a music piece against a performance of the whole work, so that the human effort spent in manual repetitive work can be dramatically reduced. Partial alignments can be extracted and relevant regions are identified in the partial results with regards to the reference, aiming at the integration within a recording studio workflow. Evaluation on real-world data obtained from two recording sessions and discussion with sound engineers provide evidence for the interest in such applications.

Gesture alignment is closely related to the domain of music alignment, as the artistic aims and engineering solutions of both areas largely overlap. Expressivity in gesture performance can be characterized by both the semantics conveyed by the gesture -- the meaning of which is related to the particular sign or pantomimic -- and the way the semantic is expressed (the way the gesture is executed). The former aspect involves a gesture recognition task, aimed at Human-Computer Interaction scenarios where gestures serve as a command actions in an event-based interaction. The latter aspect is addressed considering the time-evolution of features and the way these differ from pre-recorded templates.

Again, the advancement from a state-base model to a continuous model has been shown to be consistently favorable. The benefits of a Particle Filtering-based model were investigated on two-dimensional and three-dimensional data; it was shown how a model can simultaneously recognize a gesture among many templates and align it against the correct reference in real-time, while jointly estimating invariants such as rotation, scaling, velocity.

Another relevant research activity regarded Music Identification. Due to the increasingly large volume of music collections, the organization of documents according to some sense of similarity has become of fundamental importance. In particular, content-based music identification represents a major research topic in the Music Information Retrieval community, because it can provide tools to efficiently retrieve and organize music documents. The large availability of non-commercial recordings puts a major interest towards the cover identification problem, where the term ``cover" defines a new rendition

of a previously recorded song in genres such as rock and pop, which might have a significantly different arrangement. Music identification approaches must be able to identify a piece from a recording independently from the particular performance.

Even though alignment methodologies play a central role in many works of the music identification literature, the proposed methodology addressed the task using techniques which are usually associated to textual IR, inspired by the common belief in the community that simple approaches can be very accurate while preserving efficiency. The proposed methodology attempts to identify a music recordings by applying the Locality Sensitive Hashing paradigm, a general approach aimed at handling high dimensional spaces by using hashing functions to create collisions between vectors that are close in the space: our system is based on the hashing of Chroma features (vector descriptors related to the harmonic progression of a music work) extracted from the audio content, and on a hierarchical bag-of-features representation of the computed hashes. FALCON (FAst Lucene-based COVer song identificatiON), an open-source software implementing this methodology, was developed relying on the indexing and searching functionalities of the popular open source text search engine Apache Lucene.

A particular application domain of the technology was considered, regarding Cultural Heritage preservation institutions. A relevant effort has been made at the international level (and in particular by the European Community) to digitize massive amounts of music and speech recorded in discs, tapes and other carriers. The actual digitization of the audio content however represents only a single, although crucial, aspect in the transformation process of a physical sound archive into a music digital library: digitization campaigns have often been carried out focusing on the digital acquisition process while underestimating the importance of creating consistent metadata.

A methodology was proposed to automatically identify the content of collections of digitized materials such as vinyl discs and tapes, and evaluation was carried out on the LP collection of a medium-size music preservation institution. FALCON was adapted to this scenario -- which differs significantly from a typical cover identification task, in that any hypothesis regarding the length of music works is rendered null -- to perform an initial identification of a restricted set of candidates. This step allows the system to scale to large data collections, making it possible for more sophisticated techniques (namely the audio alignment methodology mentioned above) to carry out a precise segmentation of the LP contents into individual tracks.

Titolo definitivo della tesi:

**Alignment and Identification of Multimedia Data: Application to Music and Gesture Processing**

Nome del supervisore:

**Nicola Orio**

### Parte 3 Pubblicazioni

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

- N. Montecchio, E. Di Buccio, N. Orio. *An Efficient Identification Methodology for Improved Access to Music Heritage Collections*. Submitted to Rita Cucchiara, Costantino Grana: Journal of Multimedia, special issue on Multimedia for Cultural Heritage.
- B. Caramiaux, N. Montecchio, F. Bevilacqua. *Gesture Feature Tracking for Realtime Continuous Control of Digital Media*. In preparation.
- R. Miotto, N. Montecchio, N. Orio. *Statistical Music Modeling aimed at Identification and Alignment*. Zbigniew W. Ras, Alicja Wieczorkowska (Eds.): Advances in Music Information Retrieval. Studies in Computational Intelligence, Vol. 274, Springer 2010

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- N. Montecchio, A. Cont. *Accelerating The Mixing Phase In Studio Recording Productions By Automatic Audio Alignment*. Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), October 2011, Miami, USA.
- N. Orio, D. Rizo, R. Miotto, N. Montecchio, M. Schedl, O. Lartillot, *MusiClef: a Benchmark Activity in Multimodal Music Information Retrieval*. Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), October 2011, Miami, USA.
- E. Di Buccio, N. Montecchio, N. Orio, *University of Padua at MusiCLEF 2011: Music Identification Task*. Cross Language Evaluation Forum (CLEF) - MusiCLEF workshop, September 2011, Amsterdam, NL.
- N. Montecchio, A. Cont. *A Unified Approach to Real Time Audio-to-Score and Audio-to-Audio Alignment Using Sequential Montecarlo Inference Techniques*. Proceedings of the 36th International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), May 2011, Prague, Czech Republic.
- E. Di Buccio, N. Montecchio, N. Orio. *A Scalable Cover Identification Engine*. Proceedings of ACM Multimedia 2010 International Conference, October 2010, Florence, Italy.
- E. Di Buccio, N. Montecchio, N. Orio. *FALCON: FAst Lucene-based Cover sOng identificatioN*. Proceedings of ACM Multimedia 2010 International Conference - Open source software competition, October 2010, Florence, Italy.
- E. Di Buccio, N. Montecchio, N. Orio. *Applying Text-Based IR Techniques to Cover Song Identification*. Extended Abstract for the Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX) 2010 Audio Cover Song Identification task submission, August 2010, Utrecht, Netherlands

- N. Montecchio, N. Orio. *A Discrete Filter Bank Approach to Audio to Score Matching for Polyphonic Music*. Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), October 2009, Kobe, Japan.
- R. Miotto, N. Montecchio. *Integration of Chroma and Rhythm Histogram Features in a Music Identification System*. Proceedings of the Workshop on Exploring Musical Information Spaces (WEMIS), October 2009, Corfu, Greece.
- N. Montecchio, N. Orio. *Automatic Alignment of Music Performances with Scores Aimed at Educational Applications*. Proceedings of International Conference on Automated Solutions for Cross Media Content and Multi-channel Distribution (AXMEDIS), November 2008, Florence, Italy.
- N. Montecchio, N. Orio. *Effects of State Topology and Emission Distribution in a HMM-based Score Follower*. Extended Abstract for the Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX) 2008 Score Following task submission.

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

- N. Montecchio, N. Orio. *Visual and Aural Tools for Music Education Based on Audio to Score Alignment*. Atti del XVIII Colloquio di Informatica Musicale, Associazione Informatica Musicale Italiana, October 2010, Turin, Italy.
- N. Montecchio. *Audio to Score Alignment for Musicological Research*. Post-proceedings della XI Settimana di Alti Studi Rinascimentali, Maggio 2009, Ferrara, Italy.
- N. Montecchio. *Score Following in Tempo Reale basato su Hidden Markov Models*. Atti del XVII Colloquio di Informatica Musicale, Associazione Informatica Musicale Italiana, October 2008 (*in Italian*), Venice, Italy.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Montecchio Nicola** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Pettarin Alberto** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

**Supervisore:** Prof. Geppino Pucci

**Titolo della Tesi:** “*Graph Models of Information Spreading in Wireless Networks*”

## 1 Didattica

### 1.1 Corsi seguiti<sup>1</sup>

- 03/2009–04/2009: *Computation of Game and Market Equilibria*, Prof. B. Codenotti;
- 06/2009: *Processi di Punto di Poisson e Applicazioni*, Prof. F. Caravenna;
- 09/2009–11/2009: *Applied Functional Analysis*, Prof. G. Pillonetto;
- 11/2009–12/2009: *Statistical Methods*, Prof. L. Finesso;
- 01/2010–05/2010: *Information Retrieval and Web Search*, Prof. E. Upfal;
- 09/2010–12/2010: *Approximation Algorithms*, Prof. C. Mathieu.

### 1.2 Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi

- 22/06/2009–26/06/2009: *CIME/NEWCOM++ Summer School on Mathematical Foundations of Complex Networked Information Systems*, CIME, Verres (AO);
- 12/09/2011–16/09/2011: *PhD Summer School on Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering*, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova.

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

I seminari seguiti sono elencati nel dettaglio (data, titolo, relatore) nelle tre relazioni annuali presentate alla Scuola di Dottorato.

---

<sup>1</sup> Il corso del Prof. Caravenna appartiene al catalogo della Scuola di Matematica. Gli ultimi due corsi sono stati seguiti durante la visita presso la Brown University.



- 15 distinguished lectures;
- 28 colloquia;
- 19 altri seminari;
- Settimanalmente: *Theory Lunch* (presso la Brown University) e *ACG Talk* (presso il gruppo ACG del DEI).

#### 1.4 Partecipazione a Conferenze Internazionali

Ho partecipato e presentato i lavori [3, 6] alle seguenti conferenze internazionali:

- 07/09/2009–09/09/2009: *17th Annual European Symposium on Algorithms*, Copenhagen, Danimarca;
- 06/06/2011–08/06/2011: *30th Annual ACM SIGACT-SIGOPS Symposium on Principles of Distributed Computing*, San Jose, CA, USA.

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

Sono stato autorizzato<sup>2</sup> a svolgere 4 ore di tutorato junior a conclusione dell'attività iniziata a Ottobre 2008, per il corso di *Analisi Matematica I* (IEN e IPIM) e per il corso di *Fondamenti di Informatica* (Corsi di Laurea in Ingegneria, Area Informazione).

#### 1.6 Permanenza all'estero

Ho visitato, da Gennaio 2010 a Luglio 2010 e da Settembre 2010 a Giugno 2011, il Department of Computer Science della Brown University, Providence, Rhode Island, USA, lavorando sotto la supervisione del prof. Eli Upfal.

La Fondazione “*Ing. Aldo Gini*” di Padova mi ha conferito una borsa di studio a supporto del primo periodo di permanenza alla Brown University (Gennaio 2010–Luglio 2010) e l'ha rinnovata anche per il secondo periodo (Settembre 2010–Giugno 2011).

#### 1.7 Attività di peer-review

Ho funto da revisore di contributi per i seguenti giornali e conferenze:

- *The Computer Journal* (ComJ 2009);
- *ACM Transactions on Computation Theory* (ToCT 2010);
- *International Conference on High Performance Computing* (HiPC'09);
- *International Colloquium on Automata, Languages and Programming* (ICALP'10);
- *Symposium on Trustworthy Global Computing* (TGC'10);
- *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium* (IPDPS'10);
- *IEEE Symposium on Foundations of Computer Science* (FOCS'11);
- *International Symposium on Distributed Computing* (DISC'11);
- *International Workshop on Randomization and Computation* (RANDOM'11);
- *ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures* (SPAA'11);

---

2 Verbale della riunione del Consiglio Direttivo della Scuola del 27/01/2009.

- *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'12)*.

## 2 Attività di Ricerca

La mia principale attività di ricerca affronta lo studio delle proprietà strutturali di alcune famiglie di grafi stocastici che modellano la comunicazione in reti distribuite di agenti intelligenti, come le reti di sensori o le reti ad hoc, dove i nodi utilizzano una tecnologia radio per comunicare.

Il mio primo lavoro pubblicato [3], scritto in collaborazione con i proff. Andrea Pietracaprina e Geppino Pucci, descrive analiticamente due importanti proprietà della famiglia di grafi random noti come *Bluetooth Topology*. I grafi BT generalizzano i ben conosciuti *Random Geometric Graphs*, introducendovi il pruning distribuito dell'insieme di lati del grafo, caratteristica che vuol rappresentare la naturale selezione di un piccolo numero di "vicini" da parte di ciascun nodo nella rete fisica. Nello specifico, i grafi BT sono realizzazioni di un processo stocastico che è noto essere una buona descrizione della fase di *device discovery* delle reti che utilizzano la tecnologia Bluetooth per le comunicazioni tra i vari agenti. Abbiamo caratterizzato le proprietà di espansione e di diametro dei grafi BT nello spazio di parametri per cui il grafo risultante è sicuramente connesso. I lavori precedenti in letteratura proponevano solo una caratterizzazione della connettività di questa famiglia di grafi; viceversa, noi abbiamo studiato queste due proprietà topologiche poiché intimamente connesse con la banda e la latenza della rete rappresentata dal grafo. Grazie al nostro lavoro, queste due quantità ora sono analiticamente stimabili direttamente a partire dai parametri tecnologici (raggio di visibilità, memoria sul nodo) dei nodi della rete fisica. A Dicembre 2010 abbiamo sottomesso la versione per giornale [4], contenente le dimostrazioni omesse per i limiti di spazio imposti dai proceedings della conferenza e un'intera sezione di estensione dei risultati originari ad un modello dinamico markoviano della famiglia di grafi *Bluetooth Topology*.

A partire dagli ultimi mesi del 2009, la mia attività di ricerca ha cercato di inglobare una nozione semplificata di mobilità dei componenti della rete, caratterizzando le performances di alcune primitive logiche di comunicazione in una rete mobile, come ad esempio il broadcast di un messaggio.

Insieme ai miei coautori, i Proff. Andrea Pietracaprina, Geppino Pucci e Eli Upfal, ho studiato il tempo di broadcast di un messaggio (fondamentale primitiva per realizzare applicazioni complesse) nel seguente modello di rete. Su una griglia bidimensionale di  $n$  nodi, sono disposti uniformemente a caso  $k$  agenti, che in passi discreti e sincroni, si spostano sulla griglia effettuando un *simple random walk*. Al tempo zero, un agente possiede un messaggio che deve essere recapitato a tutti gli altri agenti. La comunicazione del messaggio avviene quando due agenti si trovano, ad un certo istante di tempo, a distanza al più  $r \geq 0$  sulla griglia. Quest'ultimo parametro vuol rappresentare il raggio di trasmissione dei dispositivi radio impiegati dai nodi per comunicare. A

differenza dei lavori precedenti su modelli simili, abbiamo considerato il caso di una rete “sparsa”, ovvero in cui il grafo delle comunicazioni sia in regime non percolativo ( $r = O(\sqrt{nl/k})$ ). Abbiamo dimostrato upper e lower bound asintotici al tempo di *broadcast* del messaggio, definito come numero di passi dopo il quale tutti gli agenti sono a conoscenza del messaggio con alta probabilità. In particolare, in questo regime sparso, abbiamo mostrato come il tempo di broadcast sia dominato dal tempo di inter-incontro degli agenti. Abbiamo mostrato poi come (essenzialmente) gli stessi bound siano validi per alcune varianti del modello descritto sopra: ad esempio se gli agenti si muovono solo se a conoscenza del messaggio e sono fermi altrimenti, oppure se ci sono più messaggi diversi e si vuole che alla fine del processo di diffusione dell'informazione ogni agente sia in possesso di tutti i messaggi.

Questo lavoro, inizialmente pubblicato come *Technical Report* [5], è stato accettato per la presentazione al *30th Annual ACM SIGACT-SIGOPS Symposium on Principles of Distributed Computing* (PODC 2011) [6] e attualmente ne è in fase di scrittura la versione per giornale.

Insieme ai miei coautori, ho individuato varie linee di ricerca che possono essere sviluppate a partire da questo primo modello:

- considerare diversi modelli di mobilità, includendo, ad esempio, ostacoli e barriere al movimento dei nodi, oppure fenomeni di movimento di gruppo o di attrazione verso “zone popolari” del dominio;
- caratterizzare il *trade-off* tra numero di messaggi scambiati e la rapidità del processo di diffusione, introducendo un costo per unità informativa (messaggio) scambiato;
- caratterizzare il *trade-off* tra memoria locale e tempo di completamento di un'operazione di gossiping, assumendo che gli agenti fungano da relay per i messaggi indirizzato ad altri agenti, ma abbiano un buffer limitato da poter utilizzare per mantenere i messaggi ricevuti;
- studiare differenti meccanismi di interazione tra gli agenti (in letteratura noti come *prey/predator*, *coalescing/explosive particles*, ecc.), di cui si conoscono solo caratterizzazioni deboli;
- utilizzare un modello di trasmissione fisico (ad esempio, SINR) anziché il modello puramente geometrico (UDG), catturando così fenomeni di interferenza e collisione sul canale fisico.

Nella seconda metà del 2011 mi sono dedicato soprattutto a sviluppare le prime tre linee di ricerca sopra elencate. Riguardo alla prima, è in fase di completamento e sottomissione il manoscritto [7], dove viene studiato un modello di mobilità in ambiente urbano, rappresentato da una griglia di isolati, in cui gli agenti possono comunicare solo lungo una riga o una colonna e fino ad una certa distanza, espressa in numero di blocchi. Con questo modello vogliamo rappresentare il funzionamento di una rete in cui i link tra agenti siano paralleli allo sviluppo stradale e i dispositivi siano dotati di una limitata capacità di trasmissione. Nell'ambito della seconda e terza linea di ricerca, ho già ottenuto alcuni risultati preliminari che prevedo di rafforzare e sistematizzare entro la fine

del Dottorato, con l'obiettivo di includerli nella mia Tesi.

Ad Agosto 2011, prendendo spunto da una richiesta del mio revisore, Prof. Andrea Clementi, ho scritto la nota [2], che analizza il *mixing time* di una versione modificata di *random walk* sulla griglia, dove il processo puo' intraprendere "salti" a distanza limitata rispetto alla posizione al passo temporale precedente. L'analisi si basa sulla riduzione del modello allo studio del *mixing time* di un *random walk* semplice su una "*augmented grid*" definita opportunamente, cui e' possibile applicare risultati precedentemente noti in letteratura.

Parallelamente alla linea principale di ricerca, nella prima parte del 2010 ho studiato, assieme ai colleghi Paolo Bertasi, Michele Scquizzato e Francesco Silvestri, un problema di *job scheduling* dinamico nell'ambito di un sistema di *desktop grid computing*. Abbiamo proposto e validato sperimentalmente una politica di load balancing basata su un approccio "altruista", ovvero in cui lo schedulatore di job cerca di mantenere il piu' possibile bilanciati i carichi delle varie macchine componenti il sistema, anziche' semplicemente assegnare in maniera *greedy* ciascun job alla macchina che meglio si adatta (dal punto di vista statico) alle esigenze del job. I nostri risultati sono confluiti nell'articolo [1] presentato al *5th Symposium on Trustworthy Global Computing* (TGC 2010).

## 2.1 Tesi di Dottorato

La mia Tesi di Dottorato, svolta sotto la supervisione scientifica del Prof. Geppino Pucci, si intitola "*Graph Models of Information Spreading in Wireless Networks*". Il revisore esterno e' il Prof. Andrea Clementi, Dipartimento di Matematica, Universita' Tor Vergata, Roma.

## 3 Pubblicazioni

[1] BERTASI, P., PETTARIN, A., SCQUIZZATO, M., AND SILVESTRI, F. A novel resource-driven job allocation scheme for desktop grid environments. In *Proceedings of the fifth Symposium on Trustworthy Global Computing* (TGC'10) (2010).

[2] PETTARIN, A. Note on the Mixing Time of the Ball Walk. Unpublished note, 2011.

[3] PETTARIN, A., PIETRACAPRINA, A., AND PUCCI, G. On the Expansion and Diameter of Bluetooth-Like Topologies. In *Proceedings of the 17th European Symposium on Algorithms* (ESA'09) (2009), vol. LNCS 5757, pp. 528–539.

[4] PETTARIN, A., PIETRACAPRINA, A., AND PUCCI, G. On the Expansion and Diameter of Bluetooth-Like Topologies. Journal version submitted (2010).

[5] PETTARIN, A., PIETRACAPRINA, A., PUCCI, G., AND UPFAL, E. Infectious Random

Walks. In arXiv:1007.1604 (2010).

[6] PETTARIN, A., PIETRACAPRINA, A., PUCCI, G., AND UPFAL, E. Tight Bounds on Information Dissemination in Sparse Mobile Networks. In *Proceedings of the 30th Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC'11)* (2011), pp. 355–362.

[7] PETTARIN, A., AND UPFAL, E. Dynamic Line-of-Sight Networks. Work in progress, 2011.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Pettarin 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

Presentazione e giudizio finale sull'attività svolta da **Rahman Mohammed Mostafizur** nell'ambito del XXIV ciclo, Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, Indirizzo Bioingegneria.

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Rahman Mohammed Mostafizur** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

Corsi specifici per studenti di Dottorato offerti presso l'Università di Padova:

Primo anno

1. *Applied Linear Algebra*, Prof. T. Damm, Prof. H. Wimmer
2. *Bioelectromagnetics*, Prof. T. A. Minelli
3. *Statistical Methods*, Prof. L. Finesso

Secondo anno

1. *Project Management*, Lorenzo Vangelista

Terzo anno

1. *Numerical methods for ordinary differential equation*, Prof. Marino Zennaro

Partecipazione a Conferenze Nazionali e Internazionali

1. The 36th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC2010), Colombia University, New York, USA, 26-28 March 2010.
2. The 5th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, Cancun, Mexico, April 27 to May 1, 2011,
3. The European Future Technologies Conference and Exhibition, Budapest, Hungary, 4-6 May, 2011.
4. The 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, Massachusetts USA, August 30 - September 3, 2011.
5. The INCF 4th world Congress, (Neuroinformatics 2011), Boston, USA, 4 - 6 September, 2011.

## ATTIVITA' DI RICERCA

### Scientific activity during the doctoral program

Currently I am working in an EU funded CyberRat project ([www.cyberrat.eu](http://www.cyberrat.eu)). The goal of this project is to achieve a fine control over the neuronal network activity by using a bi-directional brain-chip interface to stimulate and record either from same or different regions of the nervous system. The recorded single, multiunit spikes and local field potentials are to be investigated using optimized signal processing algorithms. My aim is to model neuronal network in the nervous system in order to simulate the generation of signal and analyze to perform an assessment of signal sources.

The Neuromuscular Junction is the place where the axon terminal of a motor neuron and the motor endplate of a muscle fiber meet creating a synapse to transmit messages from the brain which cause the muscle to contract. The pulse carried by the presynaptic neuron when reaches the synapse causes release of Acetylcholine into the synaptic cleft. The extracellular potential in the narrow extracellular space between nerve cell and muscle fiber (cleft) is affected by the current flow generated by the opening of sodium channels; consequently, voltage-dependent processes may be affected in the adjacent membranes. This phenomenon of current passing through weakly opened sodium channels and decreasing the potential of the extracellular space by boosting channels activation and by a positive feedback is termed “self-gating”. According to this hypothesis applied to NMJ, the extracellular voltage drop in the cleft may modify the voltages across the muscle fiber membrane, thus increasing the probability of opening the voltage-gated ion channels.

The physiological properties of the neuromuscular junction may be altered due to the critical parameters like axon terminal button radius, cleft dimensions, channel conductance, channel density and junction potential. Sudden transitions can occur between states of low and high membrane conductance since self-gating of channels within the postsynaptic membrane is triggered by minute modulations of the intracellular

potential. During my doctoral degree I have developed a mathematical model of the Neuromuscular Junction. Bistability and Histeresis has been studied intensively and in favor simulation has been performed under voltage clamp condition to study the effects of self-gating on activation, inactivation, recovery from inactivation, gating kinetics of sodium channels, firing behavior, safety-factor, maximum rate of rise, overshoot, radius conductance factor under voltage-clamp conditions at rat and frog NMJ. Authentic physiological parameters for both rat and frog are used to simulate the model.

In modeling the rat NMJ a barrel shaped muscle is considered ( $50\ \mu\text{m}$  diameter  $\times$   $500\ \mu\text{m}$  long). To form a synapse, an axon terminal ( $10\ \mu\text{m}$  radius) is connected to the highly-excitabile muscle fiber with a synaptic cleft (distance:  $50\ \text{nm}$ ). The potential at the cleft ( $V_j$ ) is calculated using total sodium conductance of the endplate motoneuron (global conductance) and the global resistance of the cleft ( $R_j$ ). The global resistance is compiled with the electrolyte resistivity, sheet resistance and sheet constant. The endplate sodium current ( $EPINa$ ) is calculated using the potential of the junction and the global conductance. The Acetylcholine Receptor current (AChR) together with the  $EPINa$  act as stimulus current for the Hodgkin-Huxley based membrane potential ( $V_m$ ) calculation at the muscle fiber.

The effect of the cleft potential has been studied which shows that the potential difference between the membrane potential and the potential in the junction has a control over the conductance associated to voltage-gated sodium channels and in consequence the muscle membrane sodium conductance in the NMJ rises suddenly when the membrane is depolarized and falls when the membrane is repolarized.

Self-gating effect on activation and inactivation of sodium channel have been studied under voltage clamp condition which shows a significant switching transaction of the sodium channels at NMJ. Recovery form inactivation is also studied under self-gating and non self-gating state. Hodgkin-Huxley speculation has been studied for both self-gating and non self-gating state which impart a complete mimic of the Hodgkin-Huxley attributes under self-gating condition. A low threshold potential with a higher repetitive firing frequency is noticed under self-gating state. Safety factor, maximum rate or rise,



overshoot, radius-conductance factor have been studied under self-gating and non self-gating state. 15 % of more safety - factor has been counted at the neuromuscular junction under self-gating condition.

During the self-gating condition a switching behavior was noticed in the sodium channels conductance: from low to high during depolarization and from high to low during repolarization of membrane potential. At this time bistability and hysteresis of sodium channels occurred which explains the transmission efficiency of the NMJ under self-gating condition. If the postsynaptic potential generated in the muscle fiber by acetylcholine release is sufficient to overcome the first threshold, a sodium conductance switching occurs favoring the triggering of the action potential in the muscle. On the other side, during the repolarization phase of the action potential the sodium conductance may tend to stay high thus prolonging the action potential itself and muscle fiber excitation.

Experiments have been performed to mimic extracellular potentials recordings at the NMJ. An experimental NMJ model was created through careful placement of Oocyte cells on electrolyte-oxide-semiconductor field effect transistors (EOSFETs) creating an artificial synapse at the cell-transistor junction. The signals were recorded under voltage clamp conditions. The experimental results were compared with our simulations based on equivalent electrical NMJ model.

The remedies of several NMJ diseases (i. e., Myasthenia Gravis, Lambert-Eaton Myasthenic Syndrome) are also hampered by limited understanding of the transmission process at the NMJ. The proposed model explores the transmission mechanism at the NMJ and may be used to plan therapy for such diseases. However, more experimental validations have to be performed before implementing it at clinical level. Also, this model may contribute to the engineering of bio-inspired neuro prosthetic devices for rehabilitation and therapy in patients with motor impairments.

Titolo definitivo Tesi:

**“Bistability and Hysteresis of Sodium Channels at Neuromuscular Junction**

Supervisore: Dr. Stefano Vassanelli

PUBBLICAZIONI (per la stesura: N: Cognome, Titolo, estremi della pubblicazione)

Published articles:

1. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Self-Gating of Sodium Channels at Neuromuscular Junction**, In: *Proceedings of the 5th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering (IEEE EMBS-NER2011)*, Cancun, Mexico, April 27 - May 1, 2011, pp. 208-211.
2. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Effect of Self-Gating on Action Potential Firing at Neuromuscular Junction**. In: *Proceedings of the 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Boston, Massachusetts USA, August 30 - September 3, 2011, pp. 4082-4085.
3. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Self-Gating Effect at the Rat Neuromuscular Junction**. In: *Proceedings of the INCF 4th world Congress, (Neuroinformatics 2011)*, Boston, USA, 4 - 6 September, 2011.
4. M. Mahmud, S. Girardi, M. Maschietto, **M. M. Rahman**, A. Bertoldo, S. Vassanelli (2009), **Slow Stimulus Artifact Removal through Peak-Valley Detection of Neuronal Signals Recorded from Somatosensory Cortex by High Resolution Brain-Chip Interface**. In: *IFMBE Proceedings of the World Congress 2009 in Medical Physics and Biomedical Engineering (WC2009)*. Munich, Germany, 7-12 September 2009, vol. 25/IV, pp. 2062-2065, ISBN: 978-3-642-03881-5.
5. M. Mahmud, S. Girardi, M. Maschietto, **M. M. Rahman**, A. Bertoldo, S. Vassanelli (2009), **Noise Characterization of Electrophysiological Signals Recorded from High Resolution Brain-Chip Interface**. In : *Proceedings of the*

*2009 International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB2009)*,  
Melbourne, Australia, 9-11 December 2009, pp. 84-87.

Accepted articles:

6. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Sodium Channels' Kinetics under Self-gating Condition at Neuromuscular Junction**. In: *Proceedings of the The 4th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI' 11)*, Shanghai, China, 15-17 October 2011.

Submitted articles:

7. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Bistability of Sodium Channel at the Neuromuscular Junction Increases the Safety-factor**. In: *Proceedings of the The Australasian Cognitive Neuroscience Conference 2011 (ACNC' 11)*, Sydney, Australia, 9-12 December 2011.

Manuscript under preparation:

8. **M. Mostafizur Rahman**, Mufti Mahmud, Stefano Vassanelli (2011), **Bistability and Hysterises of Sodium Channel at the Neuromuscular Junction**. Manuscript under preparation for: *Neuroinformatics*

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Rahman Mohammed Mostafizur** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Rizzo Gaia** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

## Parte 1 Didattica

### *Corsi seguiti*

Dose, Effect and Threshold  
Positron Emission Tomography  
Applied Linear Algebra  
Dynamical Models in Systems Biology  
Statistical Methods

### *Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi*

1. XXVIII Scuola annuale di Bioingegneria, "Bioingegneria per le neuroscienze cognitive", Bressanone (BZ)
2. 21th International School for Computer Science Researchers on "Medical and Molecular Imaging, and Bioinformatics", Lipari (ME)

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

1. Francis J. Doyle III, "Robustness in Biological Networks: From Genes to Cells to Systems"
2. Ryan Gomes, "Incremental Clustering with Nonparametric Bayesian Models"
3. Sylvia Paycha, "What if we lived in a non integer dimensional world?"
4. Federico Roncaroli, Brain cutting session
5. Kirsi Kinnunen, "White matter integrity and cognitive function after traumatic brain injury"
6. David Cole, "A multivariate approach to systems neuroscience with applications to pharmacological fMRI"
7. Eve Oldfield, "BOLD responses to negative reward prediction errors in human habenula"
8. Novraj Dhanja, "Predicting visual stimuli on the basis of activity in auditory cortices"
9. Piergiorgio Odifreddi, "Filosofia della matematica e matematica della filosofia"
10. Lamberto Maffei, "Può l'informazione modificare il cervello?"
11. Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering, Secondo Workshop, 30 Giugno – 1 Luglio 2011, Padova
12. Paolo Fabbri, "Modellazione dei dati e sviluppo di algoritmi in MATLAB"
13. Federico Turkheimer, "Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality"

*Corsi di specializzazione*

1. PET Pharmacokinetic course 2010, Drymen, Glasgow (UK)
2. R Programming course, South Kensington Campus, Imperial College, London (UK)
3. Society of Nuclear Medicine Annual Meeting – Continuing Education Sessions
  - GI Tumors & Metastases: MRI, CT & PET/CT;
  - Anatomic & Functional Imaging of Brain Tumors;
  - Non-FDG PET Imaging Cancer;
  - Characterization of Pulmonary Nodules Using FDG PET and High-Dose CT;
  - PET Image-derived indices for Therapy Response & Outcome Prediction Studies.

*Partecipazione a Conferenze Nazionali*

1. Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino (Italia), 2010

*Partecipazione a Conferenze Internazionali*

1. VIIIth International Symposium on Functional Neuroreceptor Mapping (NeuroReceptor Mapping 2010), Glasgow (Scotland, UK), 2010
2. XXVth International Symposium on Cerebral Blood Flow, Metabolism and function, Barcelona, Spain, 2011; vincitrice del 'Young Bursary Awards'.
3. Society of Nuclear Medicine Annual Meeting, San Antonio, Texas, USA, 2011.

*Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)*

1. Assistenza per il laboratorio del corso di *Neuroingegneria* per il corso di laurea magistrale in Bioingegneria, A.A. 2009/2010 tenuto dal prof.ssa Alessandra Bertoldo
2. Correlatore alla tesi di Laurea della dott.ssa Ilaria Boscolo Galazzo, dal titolo "Models for the PET quantitative imaging of the adenosine receptor radioligand [<sup>11</sup>C]SCH442416 in humans", Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Padova, AA. 2009 – 2010

*Permanenza all'estero*

PET methodology group, in collaborazione con il Dr. Ing. Federico E. Turkheimer, Imperial College of London, UK , nei periodi 1 marzo – 5 luglio 2010; 4 – 22 febbraio 2011.

## Parte 2 Ricerca

La Tomografia ad Emissione di Positroni (PET) consente di studiare in vivo l'interazione dei traccianti con specifici siti di legame (trasportatori, recettori, etc.) permettendo, al contempo, un imaging funzionale quantitativo di importanti parametri fisiologici quali la densità di recettori o trasportatori di membrana e la loro affinità per la sostanza monitorata.

La radioattività misurata può essere collegata ai processi fisiologici usando il corretto modello matematico che descriva la cinetica del ligando marcato. Le strategie modellistiche adottate fanno di solito riferimento ai modelli compartimentali che, infatti, hanno trovato un'ampia applicazione nello studio della cinetica dei traccianti PET. Tali modelli sono di tipo strutturale e richiedono

specifiche assunzioni sul numero di compartimenti e loro connessioni. Essi descrivono la struttura intima del sistema recettoriale e consentono, quindi, di stimare i parametri degli specifici meccanismi fisiologici che lo regolano. Tale analisi può essere eseguita a livello di regione di interesse (ROI - Region of Interest) o a livello di voxel. L'analisi a livello di regioni di interesse è l'approccio standard usato per l'analisi delle immagini PET ma questo, se da un lato comporta una notevole riduzione del rumore nei dati da analizzare, permettendo l'uso di stimatori non lineari, dall'altro porta ad una perdita in risoluzione spaziale. Per questa ragione, negli ultimi anni si è fatta sempre più pressante l'esigenza di passare ad un'analisi a livello di singolo voxel, che permette di evitare la segmentazione manuale di ROI, ottenendo invece mappe parametriche con la stessa risoluzione spaziale dell'immagine PET originale. Tuttavia, a causa dell'elevato rumore nei dati, diventa pressochè impossibile l'uso di stimatori non lineari anche a causa del notevole costo computazionale.

L'obiettivo del mio progetto di ricerca è stato lo sviluppo di metodi Bayesiani e di popolazione basati su modelli compartimentali per la quantificazione di immagini PET a livello di voxel.

Il primo metodo Bayesiano sviluppato, Hierarchical Maximum a Posteriori, (H-MAP) si basa su un approccio gerarchico multi-stage, dove le informazioni cinetiche ottenute a livello di ROI sono trasmesse al voxel usando uno stimatore MAP, dove le informazioni a priori sono derivate dai dati (metodo Bayesiano empirico). In particolare, il modello a livello di voxel viene linearizzato e risolto con uno stimatore MAP per eliminare il bias introdotto con la linearizzazione del modello. Il metodo si basa quindi su uno stimatore lineare, con un costo computazionale trascurabile (< 20 min per soggetto). Il metodo è stato validato su un dataset di immagini di [<sup>11</sup>C]DPN, un tracciante antagonista ai recettori oppioidi, messo a disposizione dalla Division of Experimental Medicine, Imperial College of London (UK), con cui è in corso una collaborazione con il Dr. Ing. Federico E. Turkheimer.

In secondo luogo, mi sono focalizzata sulla risoluzione di modelli multi-compartimentali nella loro versione non lineare. Il metodo scelto è stato il Basis Function Method, il più usato in letteratura, generalmente applicato al Simplified Reference Tissue Model. Il metodo BFM si basa sulla definizione a priori di una griglia costituita da termini esponenziali convoluti con la funzione di ingresso. Le griglie sono definite dall'utente e prefissate per tutti i soggetti e tutti i voxel cerebrali e la loro scelta può influire pesantemente sui risultati che possono essere affetti da bias. Il metodo Hierarchical BFM (H-BFM) è sempre un metodo gerarchico per applicare le BFM a modelli multi-compartimentali, ed è stato sviluppato in modo da superare le limitazioni del metodo nella versione originale, cioè l'uso di griglie predefinite e fissate per tutti i voxel cerebrali. Le griglie sono generate automaticamente dai dati e sono specifiche per ogni ROI, definite a priori usando le stime ottenute risolvendo il modello ottimo a livello di ROI con uno stimatore non lineare, metodo considerato gold standard.

Il metodo H-BFM è stato applicato sia a modelli con funzione plasmatica in ingresso che a modelli con ingresso a regione di riferimento, molto importanti perché permettono di evitare le misure

plasmatiche molto invasive per il soggetto durante l'esame PET.

Il metodo è stato testato su diversi dataset messi a disposizione dall'Imperial College, tra cui dati di [<sup>11</sup>C]FLB457, un tracciante per la quantificazione di recettori D<sub>2</sub>/D<sub>3</sub> di dopamina extrastriatale, e [<sup>11</sup>C]WAY100635, antagonista ai recettori 5HT<sub>1A</sub> della serotonina.

Tra gli altri metodi di quantificazione già presenti in letteratura, sono stati sviluppati due metodi detti "di popolazione", molto usati negli studi di farmacocinetica/farmacodinamica, che possono essere applicati per la generazione di mappe parametriche, considerando i voxel appartenenti ad una stessa ROI come individui in una popolazione, la cui variabilità rappresenta il grado di appartenenza del voxel alla ROI in esame. In particolare, sono stati sviluppati i metodi Iterative Two Stage e Global Two Stage, in cui le stime di ogni voxel sono aggiornate iterativamente usando sia la variabilità di popolazione che le precisioni di stima individuali. In particolare, nel metodo ITS le stime individuali sono ottenute con uno stimatore MAP, usando come prior la media e la varianza della popolazione (= la ROI cui il voxel appartiene).

In tutti i metodi descritti finora, le ROI sono state definite in due modi alternativi allo scopo di valutare l'effetto della segmentazione cerebrale sui risultati: in particolare, le regioni sono state definite sulla base di informazioni anatomiche (usando il BrainAtlas, messo a disposizione dall'Imperial College) o informazioni funzionali usando il metodo della Cluster Analysis.

Un altro problema che è stato necessario affrontare è stato lo sviluppo di modelli compartimentali per la quantificazione di traccianti PET, dato che i metodi presentati sono tutti metodi basati sui modelli compartimentali, e di conseguenza il primo passo del lavoro è l'identificazione del modello ottimo per descrivere i dati, qualora non sia già presente in letteratura. In particolare, è stato necessario sviluppare un nuovo modello per i dati di [<sup>11</sup>C]SCH442416, antagonist ai recettori A<sub>2A</sub> dell'adenosina, mai quantificati nell'uomo, e per dati di [<sup>11</sup>C]MDL100907, il cui modello già esistente non era adatto alla descrizione dei dati a nostra disposizione. Questi dataset sono stati forniti dall'Imperial College e dall'Istituto San Raffaele di Milano, con cui è in corso una collaborazione con la Prof.ssa Rosa Maria Moresco.

I principali risultati di questo progetto sono stati lo sviluppo di due metodi per la quantificazione di dati PET a livello di voxel, H-MAP e H-BFM. I metodi permettono la generazione di mappe parametriche precise ed affidabili, e applicati a dati clinici aiuteranno l'individuazione di piccole aree patologiche specifiche.

Il primo metodo ha portato a una pubblicazione su Neuroimage (Rizzo et al., 2011), mentre il secondo è stato presentato come oral in due conferenze di interesse internazionale e una pubblicazione è in corso di sottomissione.

Come già descritto, sono stati sviluppati nuovi modelli compartimentali, specifici per il tracciante in esame, e inoltre è stato sviluppato un nuovo metodo per la selezione della migliore regione di riferimento, applicato a dati di [<sup>11</sup>C]MDL100907, e quest'ultimo lavoro è stato presentato allo scorso BrainPET2011.

*Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore*

Development of novel computational algorithms for quantitative voxel-wise functional brain imaging with positron emission tomography  
Supervisore: Alessandra Bertoldo

### Parte 3 Pubblicazioni

#### *Elenco pubblicazioni su rivista internazionale*

1. Rizzo G., Turkheimer F.E., Keihaninejad S., Bose S., Hammers A., Bertoldo A. *Multi-Scale hierarchical generation of PET parametric maps: Application and testing on a [<sup>11</sup>C]DPN study*. NeuroImage (2011), doi:10.1016/j.neuroimage.2011.08.101

#### *Elenco pubblicazioni su convegno internazionale*

2. Rizzo G., Turkheimer F.E., Keihaninejad S., Bose S., Hammers A., Bertoldo A. *Multi-Scale Hierarchical Generation Of PET Parametric Maps: Application And Testing On [<sup>11</sup>C]DPN Study*, Neuroimage, Volume 52, Supplement 1, VIIIth International Symposium on Functional Neuroreceptor Mapping of the Living Brain (NeuroReceptor Mapping 2010), Glasgow (Scotland, UK), 22-24 July 2010
3. Boscolo Galazzo I., Bose S.K., Ramlackhansingh A.F., Ahmed I., Pavese N., Rizzo G., Brooks D.J., Turkheimer F.E. and Bertoldo A. *Kinetic modeling of the adenosine A<sub>2A</sub> subtype receptor radioligand [<sup>11</sup>C]SCH442416 in humans*, Neuroimage, Volume 52, Supplement 1, VIIIth International Symposium on Functional Neuroreceptor Mapping of the Living Brain (NeuroReceptor Mapping 2010), Glasgow (Scotland, UK), 22-24 July 2010
4. Rizzo G., Turkheimer F.E., Bose S.K., Bertoldo A. *Multi-scale hierarchical approach for parametric mapping: assessment on multi-compartmental models*, Book of Abstracts, Xth International Conference on Quantification of Brain Function with PET (BrainPET 2011), Barcelona, Spain, 25-28 May 2011
5. Rizzo G., Moresco R.M., Turkheimer F.E., Florea I., Matarrese M., Panzacchi A., Bertoldo A. *Voxel-wise quantification of 5HT<sub>2A</sub> receptor with [<sup>11</sup>C]MDL 100907*, Book of Abstracts, Xth International Conference on Quantification of Brain Function with PET (BrainPET 2011), Barcelona, Spain, 25-28 May 2011
6. Rizzo G., Turkheimer F.E., Bose S.K., Bertoldo A. *A new hierarchical method for PET parametric maps generation: assessment on multi-compartmental models*, J. Nucl. Med. Meeting abstracts, May 2011; 52: 162

#### *Elenco pubblicazioni su convegno nazionale*

7. Rizzo G., Turkheimer F.E., Keihaninejad S., Bose S., Hammers A., Bertoldo A. *A Bayesian Hierarchical Method For Generation Of PET Parametric Maps: Application On [<sup>11</sup>C]DPN*



*Test-Retest Study*, Atti di Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino (Italy), 8 - 10 July 2010

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Rizzo Gaia** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Ronchi Nicola** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

## **Parte 1: Didattica**

### Elenco dei corsi seguiti durante il primo anno

1. Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
2. Introduction to Quantum Optics, Proff. P. Villoresi and C. Bonato
3. Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices, Prof. G. Verzellesi
4. Pollution and Prevention, Prof. G. B. Bartolucci
5. Statistical Methods, Prof. L. Finesso

### Elenco seminari seguiti

1. Prof. Thomas Riedle, "Oleds and organic solar cells", Padova, 15/01/2010
2. Prof. Johann W. Kolar, "Performance Trends and Limitations of Electronic Energy Processing Systems", Padova, 10/09/2010
3. Prof. Marco Liserre, "Alcuni suggerimenti per scrivere un articolo scientifico per le pubblicazioni della IEEE (Transactions o Magazine)", Padova, 23/10/2009
4. Prof. Umesh K. Mishra, "Gallium Nitride: The next dominant semiconductor after Silicon", Padova, 25/09/2009
5. Prof. Marco Saraniti, Prof. Stephen Goodnick, "Cellular Monte Carlo simulation of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors", Padova, 21/05/2009
6. Prof. Jesus A. del Alamo, "MIT iLabs: Towards a Community of Internet Accessible Laboratories" Padova, 24/03/2009

### Conferenze Internazionali

1. 19<sup>th</sup> European Workshop on Heterostructure Technology (HETECH) 2010, Fodele, Crete, Greece, 18 - 20 October, 2010
2. 20<sup>th</sup> European Symposium on Reliability of Electron Devices Failure Physics and Analysis (ESREF) 2009, Arcachon, France, 5 - 9 Oct. 2009

### Permanenza all'estero

01/02/2011 – 30/09/2011: attività di ricerca svolta presso IMEC, Leuven, Belgium; nel gruppo “Power and Mixed Signal Technologies” (PMST).

## **Parte 2: Ricerca**

Titolo tesi: “An investigation of defects and reliability issues on Gallium Nitride devices”

Supervisore: Prof. Gaudenzio Meneghesso

L'attività di ricerca svolta durante il dottorato riguarda uno studio approfondito di dispositivi HEMT (High Electron Mobility Transistor) realizzati su eterostruttura AlGaN/GaN. Il lavoro può essere suddiviso in due argomenti principali: la prima parte riguarda lo studio di trappole e difetti e il loro effetto sulle prestazioni del dispositivo; la seconda parte è invece dedicata allo studio dell'affidabilità.

L'analisi degli effetti trappola è basata su una nuova metodologia che combina la misurazione impulsata delle caratteristiche elettriche del dispositivo in esame con la misurazione delle caratteristiche di elettroluminescenza. Le misure impulsive di transconduttanza ( $g_m$  vs.  $V_{GS}$ ) eseguite su transistor con diverso materiale dell'elettrodo di gate (Ni/Au/Ni o ITO) e presenza o assenza dello strato di passivazione hanno mostrato come questa tecnica può essere utilizzata come rapido e valido sistema per distinguere tra gli effetti di trappole presenti nella regione sottostante il gate e quelli di trappole nella regione di accesso gate - drain. In dettaglio si è visto che dispositivi non passivati presentano una diminuzione del picco della transconduttanza, fenomeno riconducibile alla presenza di trappole superficiali; mentre nel caso di variazione della tensione di soglia (dispositivi con elettrodo di gate in ITO) le trappole sono localizzate nella regione al di sotto del contatto di gate. La presenza di trappole sotto il contatto in ITO è stata inoltre confermata da misure di capacità vs. tensione a bassa frequenza. Le misure impulsive sono state poi messe in relazione con le misure di elettroluminescenza effettuate sui transistor; le misure ottiche sono un importante strumento per lo studio degli effetti da elettroni caldi (*hot-electron*) sul funzionamento del dispositivo. Questo confronto ha mostrato come le trappole presenti nel dispositivo limitino il massimo campo elettrico tra gate e drain e quindi l'intensità della radiazione emessa, confermando i risultati ottenuti dalle misure impulsive. Questa metodologia è stata poi applicata su dispositivi GaN HEMT realizzati su substrato in silicio caratterizzati da diverse dimensioni di recess di gate ma con costante dimensione dell'elettrodo. Un'analisi della presenza di trappole su questi campioni ha mostrato che recess più grandi sono affetti da una presenza di trappole superficiali maggiore rispetto a quelli con recess piccolo; osservazione confermata anche dalle misure ottiche che hanno mostrato la presenza di un campo elettrico inferiore nei dispositivi con più trappole rispetto a quelli con poche o del tutto privi di stati trappola.

L'analisi dei difetti presenti nei dispositivi su GaN è stata effettuata anche per mezzo

di misure di rumore a bassa frequenza. Lo studio si è concentrato su due tipologie di dispositivi: strutture TLM (Transmission Line Model) e HEMT, entrambe su AlGaIn/GaN. Per quanto riguarda le TLM sono stati testati campioni con diverse geometrie, in modo da verificare il tipo di dipendenza esistente tra intensità del rumore e dimensioni. Si sono inoltre misurati campioni provenienti da wafer con differenti tecnologie di realizzazione (percentuale di alluminio, temperatura di processo, composizione dell'elettrodo dei contatti ohmici). Da queste misure si è visto che dispositivi con bassa resistenza di contatto sono sorgenti di livelli di rumore più elevati rispetto a contatti con alta resistenza. Questo fenomeno può essere spiegato con il fatto che una bassa resistenza di contatto potrebbe implicare un elevato numero di difetti tra elettrodo metallico e canale che facilitano il passaggio delle cariche ma contemporaneamente aumentano le fluttuazioni complessive. In secondo luogo sono stati presi in considerazione i transistor, concentrandosi anche in questo caso sulle fluttuazioni della corrente nel canale. Sono state eseguite misure a diverse tensioni di gate e si è verificato che per tensioni vicine al pinch-off il rumore di canale della zona sotto il gate prevale sul rumore totale; mentre per tensioni prossime a 0 V (dispositivo acceso) il rumore che predomina è quello dei contatti e della regione di canale non coperta dal gate. Queste misure sono state messe in relazione con il breakdown del dispositivo, cercando una possibile correlazione tra tensione di rottura e livelli di intensità del rumore. L'analisi però non ha evidenziato possibili legami; questo perché molto probabilmente il breakdown è associato a difetti presenti all'interfaccia dell'elettrodo di gate, perciò troppo lontani per indurre fluttuazioni sulla corrente di canale.

L'affidabilità dei dispositivi è stata studiata per mezzo di prove di stress a breve (2 minuti step-stress) e a lungo termine (1000 ore DC life-test).

Lo stress a lungo termine è stato eseguito su dispositivi AlGaIn/GaN processati su substrato composito di tipo SopSiC realizzati nell'ambito del progetto europeo HYPHEN. Questi substrati sono realizzati tramite il trasferimento di un sottile strato di Silicio monocristallino su uno strato portante di Carburo di Silicio policristallino, il loro scopo è di rappresentare una valida ed economica alternativa ai substrati in Carburo di Silicio monocristallino. I dispositivi sono stati sottoposti a mille ore di stress in tre diverse condizioni di polarizzazione (ON-state, SEMI ON-state e OFF-state) e di temperatura di giunzione. I dispositivi sottoposti all' ON-state non hanno subito degrado, mentre alcuni dei dispositivi sottoposti alle altre due condizioni di polarizzazione hanno mostrato degrado delle prestazioni o rottura. I risultati hanno mostrato che il degrado è costituito da un aumento della corrente di leakage di gate con relativa creazione di difetti (evidenziati dalle misure di elettroluminescenza) sul bordo dell'elettrodo di gate. Inoltre nelle condizioni di bias dove la corrente di leakage è già elevata in partenza (SEMI ON-state) il degrado è più veloce rispetto alle altre condizioni di bias.

Per quanto riguarda la prova di stress accelerato, si è studiato l'effetto sulle prestazioni del dispositivo di elevate tensioni negative applicate al contatto di gate. Questo tipo di test solitamente porta all'individuazione di una tensione critica oltre la quale si verifica un brusco aumento della corrente di gate. Nella letteratura scientifica questo fenomeno è indicato come effetto piezoelettrico inverso (*inverse piezoelectric effect*) ed è attribuito allo strain del reticolo dello strato barriera dovuto al campo elettrico, che oltre una certa

soglia si rompe creando dei difetti. Con gli esperimenti condotti sui dispositivi con diversa composizione dell'elettrodo di gate (Ni/Au/Ni, ITO e Ni/ITO) si è potuto notare che la tensione critica è differente a seconda del tipo di elettrodo di gate preso in esame. Infatti i dispositivi con contatto in Ni/Au/Ni hanno una tensione critica più elevata rispetto ai dispositivi ITO e Ni/ITO. Questo però è in disaccordo con la teoria del reverse piezoelectric effect, in quanto tutti i dispositivi sono cresciuti sullo stesso wafer e lo strain reticolare dovuto al campo elettrico è identico in ogni punto. Una spiegazione è stata trovata nella diversa corrente di leakage che caratterizza i 3 tipi di dispositivi: valori elevati di corrente di leakage di gate per dispositivi non stressati (dispositivi Ni/ITO e ITO) corrisponde ad una tensione critica bassa e quindi ad una minore affidabilità rispetto a dispositivi con leakage iniziale basso (dispositivi Ni/Au/Ni). I risultati ottenuti suggeriscono che la tensione critica non sia legata solo alla tensione che si induce nel reticolo; infatti anche il livello iniziale della corrente di perdita del gate sembra giocare un ruolo nel processo di degradazione. Inoltre l'evoluzione del degrado durante il test sembra indicare che il processo di invecchiamento avvenga per filtrazione dei difetti all'interno della barriera di AlGaN (*percolation process*).

### **Parte 3: Pubblicazioni**

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

1. M. Meneghini, N. Ronchi, A. Stocco, G. Meneghesso, U. K. Mishra, Yi Pei, E. Zanoni, "Investigation of trapping and hot-electron effects in GaN HEMTs by means of a combined electro-optical method", *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 58, Issue 9, Sept. 2011
2. M. Meneghini, A. Stocco, N. Ronchi, F. Rossi, G. Salviati, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Extensive analysis of the luminescence properties of AlGaIn/GaN high electron mobility transistors", *Applied Physics Letters*, Vol. 97, Issue 6, 2010
3. G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, A. Chini and E. Zanoni, "Reliability issues of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors", *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Vol. 2, Issue 01, Feb. 2010, pp 39-50
4. N. Ronchi, F. Zanon, A. Stocco, A. Tazzoli, E. Zanoni and G. Meneghesso, "Reliability analysis of AlGaIn/GaN HEMT on SopSiC composite substrate under long term DC life test", *Microelectronics Reliability*, vol. 49, no. 9-11, Sept.-Nov. 2009, pp. 1207-1210

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

1. M. Meneghini, A. Stocco, M. Bertin, N. Ronchi, A. Chini, D. Marcon, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Electroluminescence analysis of time-dependent reverse-bias degradation of HEMTs: a complete model", accettato per

- presentazione orale allo *IEEE International Electron Device Meeting (IEDM) 2011*, Washington D.C., 5-7 Dec. 2011
2. F. Rampazzo, A. Stocco, R. Silvestri, M. Meneghini, N. Ronchi, D. Bisi, F. Soci, A. Chini, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Impact of Hot Electrons on the Reliability of AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistors", *20<sup>th</sup> European Heterostructure Technology meeting (HETECH) 2011*, Lille, France, 7-9 Nov. 2011
  3. E. Zanoni, G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Stocco, F. Rampazzo, R. Silvestri, I. Rossetto, N. Ronchi, "Electric-field and thermally-activated failure mechanisms of AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistors", *220<sup>th</sup> ECS Meeting*, Boston, Massachusetts, 9 - 14 Oct. 2011
  4. A. Stocco, N. Ronchi, G. Meneghesso, E. Zanoni, F. Roccaforte, V. Raineri, "Electrical and reliability investigation of AlGaIn/GaN HEMT grown on 8° off-axis 4H-SiC", *35<sup>th</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE) 2011*, Catania, Italy, 29 May - 1 June 2011
  5. M. Meneghini, N. Ronchi, A. Stocco, F. Rampazzo, G. Meneghesso, U. K. Mishra, Y. Pei, and E. Zanoni, "Combined electro-optical analysis of trapping effects in AlGaIn/GaN HEMTs", *38<sup>th</sup> International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) 2011*, Berlin, Germany, 22 - 26 May 2011
  6. N. Ronchi, M. Meneghini, A. Stocco, G. Meneghesso, E. Zanoni, S. Tirelli and C. R. Bolognesi, "A study of trapping phenomena on Recessed Gate AlGaIn/GaN-on-Silicon HEMT", *19<sup>th</sup> European Heterostructure Technology Workshop (HETECH) 2010*, Fodele, Crete, Greece, 18 - 20 Oct. 2010
  7. G. Meneghesso, N. Ronchi, A. Stocco, E. Zanoni, E. Piner, S. Tirelli, A.R. Alt, and C.R. Bolognesi, "Trapping and high-field characterization in Recessed-Gate AlGaIn/GaN-on-Silicon HEMT", *International Workshop on Nitride semiconductors (IWN) 2010*, Tampa, Florida, 19 - 24 Sept. 2010
  8. G. Meneghesso, A. Stocco, N. Ronchi, E. Zanoni, R. Cuerdo, F. Calle, E. Munoz, M. J. Uren, "Kink and cathodoluminescence in AlGaIn/GaN HEMTs", *34<sup>th</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuit (WOCSDICE) 2010*, Darmstadt, Germany, 16 - 19 May 2010
  9. A. Stocco, N. Ronchi, A. Chini, P.A. Nilsson, G. Meneghesso, E. Zanoni, "High robustness GaN HEMT subject to reverse bias stress", *34<sup>th</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuit (WOCSDICE) 2010*, Darmstadt, Germany, 16 - 19 May 2010
  10. A. Chini, F. Fantini, V. Di Lecce, M. Esposto, A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, G. Meneghesso, E. Zanoni, "Correlation between DC and rf degradation due to deep levels in AlGaIn/GaN HEMTs", *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) 2009*, pp.1-4, 7 - 9 Dec. 2009
  11. A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, E. Zanoni, G. Meneghesso, A. Chini and M. Peroni, "Trap analysis on GaN HEMT after DC accelerated tests", *18<sup>th</sup> European Heterostructure Technology Workshop (HETECH) 2009*, Gunzburg, Germany, 2 - 4 Nov. 2009

12. G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco E. Zanoni V. Di Lecce, M. Esposito, A. Chini, "GaN HEMT degradation induced by reverse gate bias stress", *International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS) 2009*, Jeju, Corea, 18 - 23 Oct. 2009
13. E. Zanoni, G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, F. Zanon, A. Chini, G. Verzellesi, A. Cetronio, C. Lanzieri, M. Peroni, "Long-term stability of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors: a reliability physics approach", *European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC) 2009*, Rome, Italy, 28 - 29 Sept. 2009
14. N. Ronchi, F. Zanon, A. Stocco, A. Tazzoli, E. Zanoni and G. Meneghesso, "Reliability analysis of AlGaIn/GaN HEMT on SopSiC composite substrate under long term DC life test", *20<sup>th</sup> European Symposium on Reliability of Electron Devices Failure Physics and Analysis (ESREF) 2009*, (Proceedings of the conference are printed in a special issue of the Microelectronics Reliability Journal), Arcachon, France, 5 - 9 Oct. 2009
15. E. Zanoni, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, V. Di Lecce, M. Esposito, A. Chini, G. Meneghesso, "Reverse Gate Bias Stress Induced Degradation of GaN HEMT", *36<sup>th</sup> International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) 2009*, Santa Barbara, California, 30 Aug. - 2 Sept. 2009
16. A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, E. Zanoni, G. Meneghesso, "Breakdown Walkout induced by reverse bias stress in AlGaIn/GaN HEMTs", *33<sup>rd</sup> Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuit (WOCSDICE) 2009*, Malaga, Spain, 17 - 20 May 2009
17. F. Zanon, N. Ronchi, F. Danesin, P. Bove, R. Langer, J. Thorpe, A. Stocco, and G. Meneghesso, "An investigation of reliability on hybrid substrates GaN-HEMTs", *17<sup>th</sup> European Heterostructure Technology Workshop (HETECH) 2008*, Venice, Italy, 2 - 5 Nov. 2008
18. F. Zanon, F. Danesin, A. Tazzoli, M. Meneghini, N. Ronchi, A. Chini, P. Bove, R. Langer, E. Zanoni, G. Meneghesso, "Reliability aspects of GaN-HEMTs on composite substrates," *International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (ASDAM) 2008*, Smolenice, Slovakia, 12 - 16 Oct. 2008

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Ronchi Nicola** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Sanavia Tiziana** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

Supervisore: BARBARA DI CAMILLO

Attività didattica seguita:

- Corsi di dottorato seguiti:

- **Dose, Effect, Threshold**, Prof. A. Trevisan
- **Dynamical Models in Systems Biology**, Prof. C. Altafini
- **Applied Linear Algebra**, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
- **Identification techniques**, Prof. A. Chiuso
- **Statistical Methods**, Prof. L. Finesso

- Altri corsi seguiti:

- **Corso di Bioinformatica e Biologia Computazionale**, Prof. A. Apostolico, A. A. 2008-2009
- **9° Corso di Metodologia e Ricerca Applicata**: “Attualità e Prospettive in Biologia Molecolare e Cellulare” – **Diagnostica avanzata nelle malattie reumatiche**, L. Punzi – F. Oliviero – F. Calabrese – A. Gava (Dip. di Medicina Clinica e Sperimentale), 14 Ottobre 2009
- **10° Corso di Metodologia e Ricerca Applicata**: “Aggiornamenti e prospettive in biologia molecolare e cellulare” – **Analisi di sequenza genica. Attualità e prospettive**, M. Miorin – **Nuove frontiere nello studio della regolazione dell'espressione genica: siRNA e microRNA**, E. Pagnin (Dip. Di Medicina Clinica e Sperimentale), 19 Maggio 2010

- Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi:

- XXVIII Scuola di Bioingegneria, **Bioingegneria per le neuroscienze cognitive**, Bressanone, 7-11 Settembre 2009



- XXIX Scuola di Bioingegneria, **Biologia Sintetica**, Bressanone, 13-17 Settembre 2010
- XXX Scuola di Bioingegneria, **Neuroinformatica**, Bressanone, 19-23 Settembre 2011
- PhD – Summer School on Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering (**AACSE**), Padova (Italia), 12-16 Settembre 2011

- Seminari seguiti al DEI o in altre sedi:

- Seminario: **Metodologie single-trial per l'analisi di potenziali evocati durante task cognitivi**, Prof. Giovanni Sparacino, 22 Gennaio 2009
- Seminario: **Computational cluster validation for microarray data analysis**, Prof. Raffaele Giancarlo, 5 Marzo 2009
- Distinguished Lecture: **Robustness Networks: From Genes to Cells to Systems**, Prof. Francis J. Doyle III, 7 Maggio 2009
- Seminario: **Replicabilità negli studi di Genomica Funzionale**, Cesare Furlanello – Marco Chierici (FBK - Fondazione Bruno Kessler), 20 Maggio 2009
- **Workshop Multidisciplinare** organizzato dal GROOM, 3 Giugno 2009
- Colloquia per il calcolo scientifico: **Bioinformatics, the Gene Ontology challenge for protein function prediction and much more**, Dott. Stefano Toppo, 8 Giugno 2009
- Colloquia: **Crescita e collasso di sistemi economici e sociali complessi**, Prof. Ugo Bardi, 30 Settembre 2009
- Seminario: **Metabolic profiling of the response to an oral Glucose tolerance test detects subtle metabolic changes**, Prof. Ben Van Omnem, 17 Novembre 2009
- Colloquia Patavina: **Algorithmic Systems Biology**, Prof. Corrado Priami, 9 Dicembre (da seguire) 2009
- Seminario: **Programming bio-synthetic dynamical systems**, Dr.ssa Elisa Franco, 21 Gennaio 2010
- Colloquia: **Nuotatori imbattibili**, Prof. Antonio De Simone (SISSA), 13 Aprile 2010
- Seminario: **Affymetrix European Medical Genomics Research Seminar**, G. te Kronnie – S. Bungaro - S. Bresolin - L. Trentin - E. Vendramini, (Dipartimento di Pediatria “Salus Pueri”), 20 Maggio 2010
- **1° Workshop Strategic Research Project AACSE – Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering**, 1-2 Luglio 2010

- Seminario: **The amazing ribosome, its tiny enemies and hints about its origin**, Prof.ssa Ada Yonath (premio Nobel per la Chimica), 8 Settembre 2010.
  - Seminario: **Adversarial Pattern Classification**, Prof. Fabio Roli, 10 Settembre 2010
  - Distinguished Lecture: **Filosofia della matematica e matematica della filosofia**, Prof. Piergiorgio Odifreddi, 21 Ottobre 2010
  - Seminario: **Object Detection and Classification using Machine Learning and Statistical Approaches**, Dott. Haider Ali, 27 Ottobre 2010
  - Ciclo di seminari: **Bioday meetings** organizzati dal gruppo di Bioingegneria, Gennaio – Luglio 2010
  - Seminario: **C'è spazio per tutti. Il grande racconto della geometria**, Prof. Piergiorgio Odifreddi, 21 Gennaio 2011
  - Impact Lecture: **Può l'informazione modificare il cervello?**, Prof. Lamberto Maffei (Scuola Normale Superiore di Pisa), 5 Maggio 2011
  - Colloquia: **Computational Problems in Cancer Genomics**, Prof. Eli Upfal (Brown University, USA), 18 Maggio 2011
  - **2° Workshop Strategic Research Project AACSE – Algorithms and Architectures for Computational Science and Engineering**, 30 Giugno-1 Luglio 2011
  - Seminario: **Transfer Learning by Kernel Meta-Learning**, Prof. Fabio Aioli, 7 Luglio 2011
  - Seminario: **BIOMATEMATICA – Analysis of the cell cycle using flow cytometry data: estimation of duration of the cycle phases and the growth fraction**, Prof. Rimantas Eidukevicius – **Kinetic aspects in tumor-immune system interplay - a biomathematical talk without theorems**, Dr. Alberto D'Onofrio – **Neoplastic growth**, Prof. Ambrogio Fassina, 11 Luglio 2011
  - Distinguished Lecture: **Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality**, Dr. Federico Turkheimer, 8 Novembre 2011
- Partecipazione a Conferenze Nazionali
- Secondo Congresso del Gruppo Nazionale di Bioingegneria (**GNB**), Torino, 8-10 Luglio 2010
- Partecipazione a Conferenze Internazionali
- 17th Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (**ISMB**) & 8th European Conference on Computational Biology (**ECCB**), Stockholm, 27 Giugno – 2 Luglio 2009

- 9th European Conference on Computational Biology (**ECCB**), Ghent (Belgio), 26-29 Settembre 2010
- 8<sup>th</sup> Annual Meeting of the Bioinformatics Italian Society (**BITS**), Pisa (Italia), 20-22 Giugno 2011
- **AFP/CAFA**: The Automated Function Prediction SIG featuring CAFA: Critical Assessment of Function Annotation, Vienna (Austria), 15-16 Luglio 2011
- 19<sup>th</sup> Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (**ISMB**) and 10<sup>th</sup> European Conference on Computational Biology (**ECCB**), Vienna (Austria), 17-19 Luglio 2011
- 11<sup>th</sup> International Workshop **NETTAB**: Network Tools and Application in Biology, Pavia (Italia), 12-14 Ottobre 2011

- Didattica attiva

- Assistenza / preparazione laboratori del **Corso di Elaborazione dei segnali biomedici** (Titolare del corso: Prof.ssa Gianna Toffolo), Laurea Magistrale di Bioingegneria, secondo semestre A.A. 2009/2010.
- Assistenza / preparazione laboratori del **Corso di Bioingegneria per la genomica** (Titolare del corso: Dott.ssa Barbara Di Camillo), Laurea Magistrale di Bioingegneria, secondo semestre A.A. 2009/2010.

### Attività scientifica

Titolo definitivo della tesi:

**Biomarker lists stability in genomic studies: analysis and improvement by prior biological knowledge integration into the learning process**

Supervisore: Dott.ssa Barbara Di Camillo

Titolo argomento di ricerca: **Metodi di integrazione dati in genomica e proteomica**

L'odierna ricerca nel campo della genomica e della proteomica ha prodotto e continua a generare una crescente quantità di risultati pubblicamente disponibili, aprendo nuove prospettive per la comprensione dei complessi processi cellulari e lo studio delle patologie legate a fattori di tipo genetico. Se da un lato tali conoscenze biologiche vengono raccolte in diverse ed eterogenee banche dati, dall'altro l'utilizzo di tecnologie

high-throughput (come, ad es., microarray, tecniche di sequencing, spettrometria di massa) porta alla generazione di una grande quantità di dati sperimentali che devono essere annotati con l'informazione disponibile. Per usufruire efficacemente delle annotazioni genomiche e proteomiche disponibili per l'interpretazione biologica dei risultati prodotti da tecniche di data-mining (ad es. la selezione di geni differenzialmente espressi in due o più condizioni sperimentali, la classificazione non supervisionata di gruppi di geni con pattern di espressione simili oppure quella supervisionata per l'identificazione di biomarcatori caratterizzanti una determinata condizione fisiologica) occorre lo sviluppo di metodologie specifiche in grado di gestire in modo efficiente le informazioni biologiche da integrare e di valutare il significato funzionale dei dati sperimentali. Sebbene l'applicazione di questi metodi abbia portato a diversi risultati in letteratura, lo studio dei meccanismi biologici utilizzando dati high-throughput si rivela un'operazione complessa e tuttora problematica, a causa dell'eterogeneità dell'informazione disponibile e del grande numero di parametri coinvolti. In particolare, l'applicazione degli stessi metodi a dati sperimentali diversi ottenuti con il medesimo protocollo sperimentale ha rivelato discrepanze anche notevoli nei risultati. Tali differenze sono imputabili a due cause principali:

1. I dati di espressione generati da tecniche high-throughput sono relativi a migliaia di variabili (geni/proteine), monitorate su pochi campioni sperimentali, per ragioni sia di costo che etiche. Questo fa sì che le analisi non garantiscano risultati statisticamente significativi, in quanto affetti da un alto numero di falsi positivi (elementi evidenziati dalle analisi ma non presenti realmente) o falsi negativi (elementi presenti realmente ma non evidenziati dalle analisi);
2. I sistemi cellulari coinvolgono geni, RNA, proteine e altre molecole che interagiscono attraverso meccanismi molto complessi e solo parzialmente noti. Malattie complesse, come ad esempio il cancro, sono caratterizzate da alterazioni di più pathway di regolazione e di diverse interazioni tra diversi geni e l'ambiente. La mancanza di risultati robusti in letteratura potrebbe derivare dall'osservazione parziale dei metodi finora sviluppati sulle variabili del sistema analizzato.

Esiste pertanto la necessità di sviluppare metodi in grado di gestire il problema della dimensione dei dati e che tengano conto delle complesse relazioni funzionali e regolatorie che esistono tra geni invece di trattarli come variabili indipendenti. L'attività di ricerca si è dunque focalizzata sullo studio dei diversi aspetti computazionali legati a tali problemi, concentrandosi in particolar modo sulla caratterizzazione funzionale di dati dinamici di espressione genica e sull'identificazione di liste stabili di biomarcatori, analizzando l'effetto dell'integrazione della conoscenza a priori su relazioni tra geni/proteine nei problemi di classificazione supervisionata per applicazioni clinico-biologiche. In particolare, l'attività di ricerca ha approfondito i seguenti aspetti:

1. Identificazione di pattern di espressione genica caratterizzati dall'annotazione funzionale: è stato sviluppato un metodo per l'individuazione e la caratterizzazione funzionale dei profili temporali di espressione genica in grado di migliorare la selezione in quanto diminuisce il numero di falsi negativi senza aumentare il numero

di falsi positivi in rapporto al numero di geni selezionati, utilizzando l'informazione biologica presente nel database Gene Ontology (GO), che permette di definire gruppi di geni caratterizzati dalla medesima funzione o che interagiscono nello stesso processo biologico. In questo modo, l'analisi viene vincolata permettendo di organizzare i risultati ottenuti dalla selezione e dal clustering sui profili di espressione al fine di rendere le analisi maggiormente interpretabili a livello medico-clinico. Tale approccio è stato applicato a dati di espressione genica relativi a cellule endoteliali umane [1,16] e a cellule muscolari di ratto trattate con insulina, portando a definire un insieme di geni coinvolti nel signaling dell'insulina e caratterizzati da pattern specifici [3].

2. Valutazione dei metodi di classificazione supervisionata nell'applicazione su dati di espressione genica: è stato condotto uno studio su come la dimensionalità dei dataset e la variabilità intra-classe presente nei fenotipi dei soggetti possano alterare le performance di algoritmi di classificazione e feature selection. In particolare, è stata valutata l'applicazione in questi metodi dell'approccio bootstrap, in cui diversi classificatori vengono generati su differenti partizioni dei campioni nei dati e i risultati vengono assemblati per ottenere un unico output. Un set di dataset simulati e reali è stato utilizzato per testare i metodi separando le fasi di training e test per evitare effetti di overfitting. I risultati sono stati confrontati con e senza l'applicazione dell'approccio bootstrap e con un metodo univariato più semplice e più comunemente utilizzato al fine di valutare. I risultati ottenuti sono stati valutati in termini di stabilità delle liste, precisione nell'identificazione dei biomarcatori e accuratezza di predizione delle classi. Il lavoro ha evidenziato come le tecniche di classificazione dimostrino performance migliori rispetto al test statistico univariato per dataset di piccole dimensioni (maggiormente disponibili in letteratura) e l'utilizzo di tecniche bootstrap nel processo di learning del modello migliorano ulteriormente le prestazioni in termini di precisione e riproducibilità dei risultati [4,14,17].
3. Integrazione delle informazioni biologiche nelle tecniche di classificazione supervisionata: al fine di migliorare la riproducibilità delle liste di biomarcatori, sono stati studiati gli effetti dell'integrazione di diversi tipi di conoscenza a priori nel processo di learning, sviluppando due diversi approcci di integrazione. Il primo vincola l'analisi su gruppi di geni caratterizzati dallo stesso ruolo funzionale, utilizzando l'informazione biologica contenuta nel database GO. Per ogni insieme di geni, viene costruito un modello di classificazione utilizzando tecniche di regolarizzazione che permettono di selezionare le variabili. Il numero di features utilizzato per costruire i singoli modelli di classificazione viene ridotto e contemporaneamente le analisi sono condotte su sottoinsiemi di geni funzionalmente correlati. In questo modo, oltre a selezionare i possibili biomarcatori, è possibile ottenere anche l'informazione sui processi e sulle funzionalità compromesse dalla patologia analizzata [1,15]. Il secondo metodo trasforma lo spazio delle variabili definito dal classificatore in modo tale che più due variabili sono simili tra loro, più vicine vengono mappate in tale spazio. A tal scopo, diversi tipi di informazione sono stati codificati in matrici di similarità, utilizzando diverse misure specifiche per

l'informazione biologica usata. Un classificatore lineare simile al metodo Bayes Point Machine è stato applicato utilizzando l'approccio bootstrap. I risultati ottenuti hanno dimostrato che alcuni tipi di informazione sono più efficienti nel migliorare la stabilità delle liste di biomarcatori prodotte dal classificatore, preservando un alto livello di accuratezza nella predizione [2,8,10].

4. Gestione e validazione della conoscenza a priori disponibile: è stato analizzato il problema di come reperire la conoscenza biologica e gestire l'eterogeneità intrinseca delle annotazioni disponibili. In particolare, è stata condotta un'analisi globale dell'eterogeneità presente nelle annotazioni funzionali del database GO, stimando la proporzione di gruppi di proteine ad alta similarità di sequenza (e quindi funzionalmente simili) che sono caratterizzati da un'insufficiente omogeneità tra le annotazioni. I risultati ottenuti sono indicativi della presenza di eterogeneità tra le annotazioni GO e confermano la necessità di considerare la qualità e l'origine delle annotazioni quando vengono inferite possibili funzioni biologiche. A tal scopo, è stato sviluppato un nuovo algoritmo per analizzare automaticamente le eterogeneità tra le annotazioni GO di un gruppo di proteine, restituendo in output una "mappa funzionale" che permette di discriminare la mancanza di annotazione da inconsistenze e possibili errori. Il metodo può essere applicato come step di pre-processing per la verifica delle informazioni biologiche utilizzate o come guida per predire la funzione di nuove sequenze di proteine o ri-annotare proteine note [6,11,13].

#### Pubblicazioni

- Elenco articoli pubblicati su rivista internazionale:

1. DI CAMILLO B, SANAVIA T, IORI E, BRONTE E, RONCAGLIA E, MARAN A, AVOGARO A, TOFFOLO G, COBELLI C (2010). **The Transcriptional Response in Human Umbilical Vein Endothelial Cells Exposed to Insulin: a Dynamic Gene Expression Approach.** PLoS ONE 5(12):e14390.

- Elenco articoli in revisione per pubblicazione su rivista internazionale:

2. SANAVIA T, AIOLLI F, DA SAN MARTINO G, BISOGNIN A, DI CAMILLO B **Improving biomarker list stability by integration of biological knowledge in the learning process.** Submitted to BMC Bioinformatics
3. DI CAMILLO B, IRVING BA, SCHIMKE J, SANAVIA T, TOFFOLO G, COBELLI C, NAIR KS **Function-based discovery of significant transcriptional temporal patterns in insulin stimulated muscle cells.** Submitted to PLoS ONE
4. DI CAMILLO B, SANAVIA T, MARTINI M, JURMAN G, SAMBO F, BARLA A, SQUILLARIO M, FURLANELLO C, TOFFOLO G, COBELLI C **Effect of**

**size and heterogeneity of samples on biomarker discovery: synthetic and real data assessment.** Submitted to PLoS ONE

- Elenco articoli sottomessi per pubblicazione su rivista internazionale:

5. MINA M, SANAVIA T **FastSemSim: fast and easy evaluation of semantic similarity measures on Gene Ontology annotations.** Submitted to Bioinformatics

- Elenco articoli in preparazione per pubblicazione su rivista internazionale:

6. SANAVIA T, FACCHINETTI A, DI CAMILLO B, TOFFOLO G, LAVEZZO E, FONTANA P, TOPPO S **Revealing heterogeneities and inconsistencies in protein functional annotations.**

- Elenco pubblicazioni su convegno internazionale:

7. SANAVIA T, CREPALDI A, BARLA A, DI CAMILLO B (2011) **Gene Ontology based classification improves prediction and gene signature interpretability.** Network Tools and Applications in Biology (NETTAB) Workshop, 12-14 October 2011, Pavia, Italy.
8. SANAVIA T, AIOLLI F, DA SAN MARTINO G, BISOGNIN A, DI CAMILLO B (2011) **Improving biomarker list stability by integration of biological knowledge in the learning process.** In: 19th Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB) & 10th European Conference on Computational Biology (ECCB). 15-19 July 2011, Wien, Austria.
9. MINA M, SANAVIA T, DI CAMILLO B, TOFFOLO G, GUERRA C (2011) **Functional assessment of topological characterization using graphlet degrees in PPI networks.** In: 19th Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB) & 10th European Conference on Computational Biology (ECCB). 15-19 July 2011, Wien, Austria.
10. SANAVIA T, AIOLLI F, DA SAN MARTINO G, BISOGNIN A, DI CAMILLO B (2011) **Stable Feature Selection for Biomarker Discovery: Use of Biological Information.** In: BITS Annual Meeting 2011, 20-22 June 2011, Pisa, Italy.
11. FACCHINETTI A, SANAVIA T, DI CAMILLO B, LAVEZZO E, FONTANA P, TOPPO S (2011) **A Method to Reveal and Handle Heterogeneities and Inconsistencies in Gene Ontology Annotation.** In: BITS Annual Meeting 2011, 20-22 June 2011, Pisa, Italy.
12. SANAVIA T, SAMBO F, GRASSI A, DI CAMILLO B, TOFFOLO G (2010) **Gene Network Inference by significance analysis on genotype/phenotype**

- data.** In: 3rd Annual Joint Conference on Systems Biology, Regulatory Genomics and Reverse Engineering Challenges. Columbia University, New York, USA, 16-20 November 2010.
13. SANAVIA T, FACCHINETTI A, DI CAMILLO B, TOFFOLO G, LAVEZZO E, TOPPO S, FONTANA P (2010) **Revealing heterogeneities and inconsistencies in protein functional annotations.** In: 9th European Conference on Computational Biology (ECCB). 26-29 September 2010, Ghent, Belgium.
  14. DI CAMILLO B, MARTINI M, SANAVIA T, JURMAN G, SAMBO F, BARLA A, SQUILLARIO M, FURLANELLO C, TOFFOLO G, COBELLI C (2010) **Effect of size and heterogeneity of samples on biomarker discovery: synthetic and real data assessment.** In: 9th European Conference on Computational Biology (ECCB). 26-29 September 2010, Ghent, Belgium.
  15. SANAVIA T, BARLA A, DI CAMILLO B, MOSCI S, TOFFOLO G (2009) **Function-based analysis of microarray data via l1-l2 regularization.** In: 17th Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB) & 8th European Conference on Computational Biology (ECCB). 27 June - 2 July 2009 Stockholm, Sweden.
  16. SANAVIA T, DI CAMILLO B, IORI E, MARAN A, BRONTE E, AVOGARO A, TOFFOLO G, COBELLI C (2008). **Function-based discovery of characteristic temporal expression profiles in endothelial cells stimulated with insulin.** In: 11th International Meeting of Microarray and Gene Expression Data Society (MGED). 1-4 September 2008 Riva del Garda (TN), Italy.

- Elenco pubblicazioni su convegno nazionale:

17. DI CAMILLO B, MARTINI M, SANAVIA T, COBELLI C, TOFFOLO G (2010) **In silico assessment of effect of size and heterogeneity of samples on biomarker discovery.** In: Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria (GNB). 8-10 July 2010, Turin, Italy.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Sanavia Tiziana** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.



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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Spagnol Simone** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

Borsa CARIPARO a tema vincolato: “Sistemi di realtà virtuale multimodale per applicazioni di riabilitazione”.

#### Parte 1 – didattica

- corsi seguiti:
  - Applied Functional Analysis (28 ore, 7 crediti)
  - Computation of Game and Market Equilibria (20 ore, 5 crediti)
  - Statistical Methods (24 ore, 6 crediti)
  - Algoritmi di Approssimazione (Prof. Lancia, 14 ore, 3.5 crediti) - Scuola di Dottorato in Scienze Matematiche, indirizzo di Matematica Computazionale
  
- partecipazione a scuole estive internazionali:
  - “Sound and Music Computing Summer School”, 18-21 Luglio 2010, Barcellona, Spagna
  
- seminari seguiti al DEI o in altre sedi:
  - Workshop “Le Installazioni Musicali”, Venerdì 22 Maggio 2009, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Seminario sulla Proprietà Intellettuale, Venerdì 5 Giugno 2009, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Marco Liserre, “Alcuni suggerimenti per scrivere un articolo scientifico per le pubblicazioni della IEEE (Transactions o Magazine)”, Venerdì 23 Ottobre 2009, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Padova
  - Workshop “Toni Mian”, Venerdì 6 Novembre 2009, Fondazione Bruno Kessler (FBK)-IRST, Trento
  - Workshop “Le Installazioni Musicali Interattive”, Sabato 11 Settembre 2010, Villa Contarini, Piazzola sul Brenta, organizzata da DEI, Sound and Music Computing Lab (SaMPL) e Conservatorio C. Pollini di Padova
  - Simon Godsill, “Modern Techniques in Digital Audio Restoration”, Martedì 21 Settembre 2010, Aula Ae, DEI, Padova

- Workshop on Spatial Sound and Audio Quality, Lunedì 25 Ottobre 2010, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia
- David Griesinger, “A Neural Model for the Simultaneous Detection of Pitch, Timbre, Azimuth, and Distance of Multiple Sound Sources”, Lunedì 22 Novembre 2010, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia
- Juha Merimaa, “Modification of HRTFs to reduce Timbral Effects in Binaural Synthesis”, Venerdì 21 Gennaio 2011, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia
- Armin Kohlrausch, “Alvar Wilska's Work on Spatial Hearing from his 1938 PhD Thesis”, Martedì 15 Marzo 2011, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia
- Rencon Workshop, Mercoledì 6 Luglio 2011, Aula Magna DEI, Padova
  
- partecipazione a conferenze nazionali:
  - XVIII Colloquio di Informatica Musicale (XVIII CIM), 7-8 Ottobre 2010, Laboratorio G. Quazza, Torino
  
- partecipazione a conferenze internazionali:
  - Joint PRESENCIA and SKILLS PhD Symposium, 26-27 Maggio 2009, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa
  - 6<sup>th</sup> Sound and Music Computing Conference (SMC09), 23-25 Luglio 2009, Casa da Música, Porto, Portogallo
  - 7<sup>th</sup> Sound and Music Computing Conference (SMC10), 22-24 Luglio 2010, Universitat Pompeu Fabra, Barcellona, Spagna
  - 13<sup>th</sup> Digital Audio Effects Conference (DAFx-10), 7-9 Settembre 2010, Institute of Electronic Music And Acoustics (IEM), Graz, Austria
  - IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP'10), 4-6 Ottobre 2010, Palais du Grand Large, Saint-Malo, Francia
  - 14<sup>th</sup> Digital Audio Effects Conference (DAFx-11), 20-22 Settembre 2011, Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM), Parigi, Francia
  - 7<sup>th</sup> International Conference on Signal Image Technology & Internet Based Systems (SITIS 2011), 28 Novembre – 1 Dicembre 2011, Campus Dijon University, Digione, Francia
  
- permanenza all'estero:
  - 18 Ottobre 2010 – 18 Aprile 2011, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia. Supervisore: Dr. Ville Pulkki.
  
- attività organizzativa:

- membro del comitato organizzativo locale della 8<sup>th</sup> Sound and Music Computing Conference (SMC 2011) e coordinatore dello staff, 7-9 Luglio 2011, Aula Magna Palazzo Bo, Padova.
- realizzazione del sito web di SMC 2011.
- attività di revisione (*peer review*):
  - 1 articolo per il Journal of New Music Research (JNMR)
  - 3 articoli per la 8<sup>th</sup> Sound and Music Computing Conference (SMC 2011)

## Parte 2 – ricerca

Durante il triennio il tema di ricerca è stato sviluppato in due principali direzioni: studio di tecniche di rendering di audio binaurale e design di feedback sonori per sistemi di riabilitazione virtuale/assistita da robot.

Lo studio delle tematiche relative all'audio binaurale è stato portato avanti dai risultati ottenuti nella Tesi Specialistica in Ingegneria Informatica. Durante il primo anno è stata ricavata una rappresentazione efficiente delle Head-Related Transfer Functions (HRTF) relative al contributo di una testa sferica, parametrizzata sulla posizione della sorgente rispetto all'ascoltatore e adatta ad un ambiente real-time. La novità di tale studio rispetto allo stato dell'arte va attribuito all'approssimazione di HRTF analitiche tramite analisi alle componenti principali (PCA). I risultati del suddetto lavoro sono stati presentati alle conferenze internazionali SMC09 e NEM 2009.

Durante il secondo e terzo anno è stata ricavata e progressivamente affinata una rappresentazione efficiente tramite filtri di basso ordine per le Pinna-Related Transfer Functions (PRTF), ovvero le funzioni relative al contributo della pinna (orecchio esterno) nell'ascolto spaziale. Tale rappresentazione è stata ottenuta grazie all'utilizzo di un algoritmo ad-hoc per la separazione dei contributi delle riflessioni da quelli delle risonanze nelle PRTF. Sono stati raggiunti risultati importanti riguardanti la definizione di tale modello nella direzione frontale, tramite l'utilizzo di filtri di basso ordine e di un fitting polinomiale su alcune feature della PRTF (in particolare i modi di risonanza mediate su tutti i soggetti di un database pubblico di HRTF. In particolare è stata verificata rigorosamente la corrispondenza tra l'andamento dei rilievi della pinna (sotto forma di immagine 2-D) e il parametro frequenza centrale dei notch nella relativa PRTF di un numero significativo di soggetti. Infine si è visto, sempre in linea teorica, come l'errore di approssimazione dell'estrazione del suddetto parametro dall'antropometria sia dal punto di vista psicoacustico più che accettabile. La rilevanza di tale lavoro rispetto allo stato dell'arte va attribuita al fatto che il fitting antropometrico sia stato effettuato combinando semplici argomenti acustici derivati da precedenti lavori nei quali l'evidenza della corrispondenza era di gran lunga minore. Inoltre una personalizzazione della PRTF basata sull'antropometria rappresenta un risultato mai raggiunto in maniera efficace in letteratura. I risultati di questo studio nel suo complesso sono stati sottomessi per

pubblicazione su giornale (IEEE TASLP) e sono stati (o verranno a breve) presentati a quattro conferenze internazionali (SMC10, DAFx-10, MMSP'10, SITIS 2011) e a due congressi nazionali (XVIII CIM, CHItaly 2011). Ad uno dei paper (MMSP'10) è stato riconosciuto il premio IEEE "Top 10% Paper Award".

È inoltre stato realizzato un setup di realtà virtuale per l'ascolto binaurale nel contesto di una Tesi di Diploma Accademico del Conservatorio di Padova, grazie all'attrezzatura messa a disposizione dal laboratorio Sound and Music Computing Lab (SaMPL). È stato utilizzato un sistema professionale di motion capture (PhaseSpace) per tracciare con precisione submillimetrica i movimenti della testa, grazie al posizionamento di 6 sensori installati sulle cuffie del soggetto, in uno spazio cubico di circa 20 m<sup>3</sup>. I dati di posizione sono inviati tramite protocollo OSC ad un'altra macchina sulla quale le coordinate cartesiane della testa all'interno del cubo vengono trasformate in coordinate polari delle sorgenti sonore virtuali, poste in punti fissi o tracciate anch'esse con dei sensori, rispetto alla testa. Tale trasformazione permette il controllo di una patch in PureData per la sintesi di audio binaurale tramite interpolazione con HRTF preregistrate di una testa KEMAR. Il setup potrà essere facilmente replicato in futuro per la valutazione del sopraccitato modello di PRTF/HRTF.

Infine, nel contesto del periodo all'estero presso la Aalto University di Helsinki, è stato realizzato e reso pubblico un nuovo database di PRTF misurate su 25 diversi soggetti in camera anecoica utilizzando uno strumento autocostruito per isolare la pinna dal resto del corpo del soggetto. Il database è unico nel suo genere (non esistono altri database pubblici di PRTF) e verrà utilizzato come strumento alternativo per ulteriori studi antropometrici. Questo lavoro è stato presentato alla conferenza internazionale DAFx-11. L'attività di design di feedback uditivo per la riabilitazione ha avuto inizio con una collaborazione all'interno del gruppo di ricerca SMC ad una review dello stato dell'arte nel campo dei sistemi robotici per la neuro-riabilitazione motoria, focalizzato sulle modalità e la frequenza di utilizzo del feedback uditivo nei sistemi esistenti. Le conclusioni tratte da tale lavoro possono essere riassunte nella bassa considerazione, all'interno della letteratura dedicata ai sistemi riabilitativi, attribuita al feedback audio, il quale in realtà avrebbe la facoltà di apportare notevoli miglioramenti al processo riabilitativo in termini di portabilità, coinvolgimento e motivazione del paziente, ed efficacia durante la fase acuta del trattamento e nell'esecuzione di attività quotidiane. Tale lavoro è stato presentato alla conferenza internazionale SKILLS09 e verrà pubblicato come capitolo del libro *Sonic Interaction Design*, MIT Press.

Ho quindi preso parte ad una collaborazione con il gruppo di robotica del Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale, riguardante il progetto di sistemi di realtà virtuale multimodale per la riabilitazione post-ictus dell'arto superiore. Nello specifico, nel contesto di semplici task riabilitativi accompagnato da feedback video e audio in cui il soggetto deve seguire con un puntatore il movimento orizzontale (a distanza fissa o variabile in maniera casuale) di un target, sono stati forniti sostanzialmente due diversi tipi di feedback sonoro continuo: il primo, relativo al movimento del target, simula il suono di una sfera rotolante; il secondo, relativo all'errore di posizione, realizza una sintesi di formanti. Entrambi i feedback sono spazializzati per l'ascolto binaurale. I risultati di tale esperimento su soggetti sani hanno evidenziato come in particolare il

feedback relativo al movimento del target sia in grado di convogliare informazione aggiuntiva riguardante il task all'utilizzatore, la cui performance migliora notevolmente rispetto al caso in cui il feedback uditivo è assente; come la sostituzione sensoriale del feedback sonoro con un feedback video aggiuntivo sia controproducente; e come il feedback uditivo sia in grado di aiutare l'utente nella sua performance anche nel contesto di una trasformazione visuomotoria. Questi risultati sono stati sottomessi per pubblicazione al Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (JNER) e presentati in parte alla conferenza internazionale ICORR2011, dove il paper sottomesso ha ricevuto una nomination al "Best Poster Award".

E' stato inoltre avviato un esperimento analogo riguardante la riabilitazione dell'arto inferiore (*gait training*) su pazienti post-ictus alla University of Delaware (referente prof. Agrawal), nel quale viene investigato come l'aggiunta o la sostituzione di feedback uditivo (relativo all'andamento del paziente o del template sotto forma di pattern ritmico, oppure relativo alla fase di *swing* del paziente) rispetto al feedback visivo possa migliorare la performance e la regolarità della camminata. Risultati preliminari mostrano come il feedback ritmico basato sul template e il feedback sullo swing del paziente migliorino sensibilmente la regolarità della camminata, mentre il feedback ritmico basato sul paziente migliora leggermente la performance. In entrambi i casi (arto superiore e inferiore) questo studio del feedback sonoro, che prende in considerazione tecniche quale la sonificazione di movimenti, rappresenta una novità nel campo della riabilitazione assistita.

Oltre alle citate conferenze, ho presentato il mio lavoro di ricerca ai seguenti seminari/workshop:

- Agorà della Ricerca e dell'Innovazione, 8-9 Maggio 2009, Centro Culturale Altinate, Padova;
- Workshop on Spatial Sound and Audio Quality, Lunedì 25 Ottobre 2010, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia;
- Simone Spagnol, "A Pinna-Related Transfer Function Database", Giovedì 14 Aprile 2011, Aalto University School of Science and Technology, Espoo, Finlandia.

**Titolo definitivo della tesi: Techniques for customized binaural audio rendering with applications to virtual rehabilitation.**

Supervisore: Prof. DE POLI Giovanni

Parte 3 – pubblicazioni

- Pubblicazioni su rivista internazionale:
  - S. Spagnol, M. Geronazzo e F. Avanzini. *On the relation between pinna reflection patterns and head-related transfer function features*. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing (IEEE TASLP). *Sottomesso per pubblicazione.*

- G. Rosati, F. Oscari, S. Spagnol e F. Avanzini. *Role of auditory feedback in tracking movements for rehabilitation: improving performance using a task-related auditory feedback*. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (JNER). *Sottomesso per pubblicazione*.
- Pubblicazioni a convegni internazionali:
  - S. Spagnol e F. Avanzini. *Real-time binaural audio rendering in the near field*. In Proc. Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC09), pagine 201-206, Porto, Luglio 2009.
  - F. Avanzini, L. Mion e S. Spagnol. *Personalized 3D sound rendering for content creation, delivery, and presentation*. NEM Summit 2009, pagine 12-16, Saint-Malo, Settembre 2009.
  - F. Avanzini, A. De Götzen, S. Spagnol e A. Rodà. *Integrating auditory feedback in motor rehabilitation systems*. In Proc. Int. Conf. on Multimodal Interfaces for Skills Transfer (SKILLS09), Bilbao, Dicembre 2009.
  - S. Spagnol, M. Geronazzo e F. Avanzini. *Structural modeling of pinna-related transfer functions*. In Proc. 7th Int. Conf. on Sound and Music Computing (SMC 2010), pagine 422-428, Barcellona, Luglio 2010.
  - M. Geronazzo, S. Spagnol e F. Avanzini. *Estimation and modeling of pinna-related transfer functions*. In Proc. 13th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx-10), Graz, Settembre 2010.
  - S. Spagnol, M. Geronazzo e F. Avanzini. *Fitting pinna-related transfer functions to anthropometry for binaural sound rendering*. In Proc. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP'10), pagine 194-199, Saint-Malo, Ottobre 2010. **Vincitore del Top 10% Paper Award**.
  - G. Rosati, F. Oscari, D. J. Reinkensmeyer, R. Secoli, F. Avanzini, S. Spagnol e S. Masiero. *Improving robotics for neurorehabilitation: enhancing engagement, performance, and learning with auditory feedback*. In Proc. IEEE 12th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR2011), pagine 341-346, Zurigo, Giugno-Luglio 2011. *Paper finalista al "Best Poster Award"*.
  - S. Spagnol, M. Hiipakka e V. Pulkki. *A single-azimuth pinna-related transfer function database*. In Proc. 14th Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFx-11), Parigi, Settembre 2011.
  - M. Geronazzo, S. Spagnol e F. Avanzini. *A head-related transfer function model for real-time customized 3-D sound rendering*. In Proc. INTERPRET Workshop, SITIS 2011 Conference, Digione, Novembre-Dicembre 2011. *Accettato per pubblicazione*.
- Pubblicazioni a convegni nazionali:

- S. Spagnol, M. Geronazzo e F. Avanzini. *Structural modeling of pinna-related transfer functions for 3-D sound rendering*. In Proc. XVIII Colloquio di Informatica Musicale (XVIII CIM), Torino, Ottobre 2010.
- M. Geronazzo, S. Spagnol e F. Avanzini. *Customized 3D sound for innovative interaction design*. In Proc. SMC-HCI Workshop, Conferenza CHIItaly 2011, Alghero, Settembre 2011.
- Pubblicazioni su libri:
  - F. Avanzini, S. Spagnol, A. De Götzen e A. Rodà. *Designing interactive sound for neurorehabilitation systems*. Capitolo del libro “Sonic Interaction Design”, editori K. Franinovic e S. Serafin, MIT Press. *Accettato per pubblicazione*.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Spagnol 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Squarcina Letizia** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

## Parte 1 Didattica

### *Corsi seguiti*

1. *Dose, Effect and Threshold*, Prof. Andrea Trevisan, gennaio/febbraio 2009
2. *Positron Emission Tomography*, Prof.ssa Maria Carla Gilardi, gennaio/febbraio 2009
3. *Applied Linear Algebra*, Prof. Tobias Damm e dal Prof. Harald Wimmer, marzo 2009
4. *Dynamical Models in Systems Biology*, Prof. Claudio Altafini, marzo/aprile 2009
5. *Statistical Methods*, Prof. Lorenzo Finesso, novembre 2009
6. *Immagini biomediche*, Prof. Alfredo Ruggeri, febbraio 2010
7. *Segnali biomedici*, Prof. Enrico Grisan, marzo/novembre 2010
8. *MRI imaging*, Prof. Alessandra Bertoldo, luglio/ottobre/dicembre 2010
9. *Corsi di Formazione per Dottorandi di Ricerca dell'Università di Padova*, Dott. R.D'Orazio, settembre/ottobre 2010
10. *Elaborazione di segnali*, Prof. G.M.Toffolo, novembre 2010
11. *Metodi avanzati per l'analisi di immagini*, Prof. E. Grisan, marzo/aprile 2011
12. *Neuroimaging*, Prof. A. Bertoldo, giugno/luglio 2011
13. *Integrazione multimodale*, Prof. A. Bertoldo, luglio/agosto 2011
14. *Tecniche avanzate per l'elaborazione e l'analisi di immagini biomediche*, Prof. E. Grisan, ottobre/novembre 2011
15. *Innovazione e sviluppo prodotto*, Ing. M. Scabbia, settembre/novembre 2011

### *Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi*

1. XXVII Scuola annuale di Bioingegneria, "Bioingegneria per le neuroscienze cognitive", Bressanone (BZ), settembre 2009

### *Partecipazione a scuole internazionali per dottorandi*



1. 4th International Summer School in Biomedical Engineering - Brain connectivity and information transfer, Leipzig (Germany).
2. VII Workshop: Brain function investigation by magnetic resonance, electrophysiology, and molecular imaging, Erice (TP).

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

1. *Robustness in Biological Networks: From Genes to Cells to Systems*, Prof. Francis J. Doyle III
2. *Incremental Clustering with Nonparametric Bayesian Models*, Ryan Gomes
3. *What if we lived in a non integer dimensional world?*, Prof.ssa Sylvia Paycha
4. *Filosofia della matematica e matematica della filosofia*, Prof. Piergiorgio Odifreddi, ottobre 2010
5. *White matter integrity and cognitive function after traumatic brain injury*, Kirsi Kinnunen, aprile 2010
6. *BOLD responses to negative reward prediction errors in human habenula*, Eve Oldfield, maggio 2010
7. *A multivariate approach to systems neuroscience with applications to pharmacological FMRI*, David Cole, maggio 2010
8. *Predicting visual stimuli on the basis of activity in auditory cortices*, Novraj Dhanjal, maggio 2010
9. *Brain cutting session*, prof. Federico Roncaroli, maggio 2010
10. *Può l'informazione modificare il cervello?*, Prof. Lamberto Maffei, maggio 2011
11. *Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality*, Prof. Federico Turkheimer, novembre 2011

#### ***Corsi di specializzazione***

1. Computational Neuroscience And Modeling Of Neurodynamics, 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping course, Barcelona, Spain
2. R Programming course, South Kensington Campus, Imperial College, London (UK)

#### ***Partecipazione a Conferenze Nazionali***

1. Risonanza Magnetica in Medicina- Mialno, 4-5 febbraio 2010
2. 2nd National Congress of Bioengineering, Torino, 7 – 10 luglio 2010

***Partecipazione a Conferenze Internazionali***

1. 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Barcellona, 6 – 10 giugno 2010
2. ECTRIMS 2010: Gothenburg, Sweden · 13-16 ottobre 2010
3. ISMRM - 19th Annual Meeting and Exhibition, Montreal, Canada, 7-13 maggio 2011
4. 17th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Quebec City, Canada, 26-30 giugno 2011
5. 5th joint triennial congress ECTRIMS / ACTRIMS 2011, 19-21 ottobre 2011

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

1. Assistenza per il laboratorio del corso di *Neuroingegneria* per il corso di laurea specialistica in Bioingegneria (Nuovo Ordinamento) e il corso di laurea magistrale in Bioingegneria, , A.A. 2009/2010 tenuto dalla prof.ssa Alessandra Bertoldo, gennaio – febbraio 2010
2. Assistenza per il laboratorio del corso di *Informatica medica* per il corso di laurea specialistica in Bioingegneria (Nuovo Ordinamento), AA 2009/2010 tenuto dal prof. Giovanni Sparacino, dicembre 2009
3. Attività di correlatore alla tesi dal titolo “Segmentazione di immagini di risonanza magnetica ed integrazione con mappe di anisotropia tessutale per lo studio della sclerosi multipla” del laureando Giacomo Mandruzzato, AA 2009/2010
4. Attività di correlatore alla tesi dal titolo “Sviluppo di un algoritmo di trattografia deterministica DTI ed applicazione ad immagini di soggetti affetti da Sclerosi Multipla” del laureando Marco Pizzolato, AA 2010/2011

***Permanenza all'estero***

Attività di ricerca presso l'Imperial College, London (UK), relativa al progetto “: DTI analysis of cerebral connectivity in TBI patients” in collaborazione con David Sharp (Phd, MD), presso il Clinical Science Centre, Hammersmith Hospital, Imperial College, London (UK), marzo - luglio 2010

**Parte 2 Ricerca**

***Descrizione dell'attività di ricerca durante il dottorato (max 2 pagine) mettendo***

*particolarmente in evidenza i risultati originali conseguiti.*

La risonanza magnetica è una tecnica diagnostica non invasiva utile ad ottenere immagini biomediche in vivo. In particolare, la tecnica di risonanza magnetica detta diffusion tensor imaging (DTI) permette di stimare quantitativamente la direzionalità della diffusione dell'acqua all'interno del tessuto cerebrale. Questo è possibile dal momento che il movimento dell'acqua dovuto alla diffusione viene rilevato dallo scanner per risonanza magnetica come una attenuazione del segnale rilevato. L'applicazione di una serie di gradienti di campo magnetico lungo un certo numero di direzioni consente di identificare lo spostamento delle particelle lungo ognuna di esse. Questo permette di inferire la struttura microscopica dei tessuti, dal momento che questi sono costituiti da strutture altamente direzionali. Tramite un procedimento di fit dei dati di risonanza ad un modello esponenziale mediante regressione lineare, viene stimato un tensore di diffusione, dai cui autovalori ed autovettori vengono ottenuti degli indici rappresentativi della sua forma più o meno elongata. Gli indici più utilizzati a livello clinico e di ricerca sono la fractional anisotropy (FA), rappresentativa del grado di anisotropia della diffusione, e la mean diffusivity (MD), che quantifica l'intensità della diffusione all'interno del tessuto. E' stato dimostrato che tali indici sono sensibili a modifiche nella microstruttura del tessuto cerebrale. E' inoltre possibile, grazie alla stima del tensore di diffusione, identificare all'interno della materia bianca delle fibre (o tratti) che connettono le diverse aree cerebrali.

La mia attività di ricerca si è focalizzata sulla quantificazione e la caratterizzazione di indici di diffusione relativi all'integrità microstrutturale in aree cerebrali patologiche, identificando differenze statistiche rispetto ad aree sane, utilizzando diverse tecniche di analisi.

In primo luogo, è stata fatta un'analisi a livello di regione di interesse (region of interest, ROI). Il dataset, comprendente immagini di risonanza relative a diverse sequenze di acquisizione, quali pesate T1, double inversion recovery (DIR) e DTI, è stato messo a disposizione dalla Clinica Neurologica dell'ospedale di Padova, ed è relativo a pazienti affetti da sclerosi multipla (SM). Le ROI di interesse sono in questo caso lesioni demielinizzanti caratteristiche del processo patologico relativo alla SM, localizzate nella materia grigia. Tali lesioni sono identificate su immagini acquisite con sequenza DIR, che permette di enfatizzare il contrasto tra materia grigia e bianca. Le immagini DIR sono state sovrapposte alle immagini DTI tramite una trasformazione lineare, e i valori di FA relativi a tali regioni sono stati calcolati. E' stata anche caratterizzata la distribuzione dei valori di FA nell'intera materia grigia, per verificare se vi sono differenze statistiche tra i valori del tessuto sano e i valori del tessuto patologico. La materia grigia è stata identificata tramite segmentazione delle immagini ottenute con sequenze di risonanza pesate T1 in materia bianca e grigia. La scelta di segmentare le immagini utilizzando tale sequenza è stata determinata dal fatto che tale segmentazione è robusta. Le immagini pesate T1 e le relative segmentazioni sono state allineate alle immagini DTI tramite registrazione lineare. I risultati ottenuti hanno confermato una modifica microstrutturale del tessuto identificato come patologico rispetto al tessuto sano: i valori di FA all'interno delle lesioni sono notevolmente più alti rispetto ai valori nella materia grigia sana. Tale

risultato è stato confermato anche analizzando dati relativi ai medesimi soggetti considerati, ma acquisiti in tempi diversi distanziati da diversi mesi. I risultati ottenuti da questo studio sono stati presentati all' OHBM 2010 e all'ECTRIMS 2011.

Successivamente, in collaborazione con il Dr. David Sharp dell'Imperial College di Londra (UK), sono stati considerati pazienti affetti da traumatic brain injuries (TBI). Nella materia bianca di tali pazienti sono identificabili lesioni focali visibili sulle immagini di risonanza, ed è possibile anche rilevare un danno microstrutturale grazie alla DTI, questo non visibile su immagini acquisite con tecniche diverse. Per questo studio non è più stato usato un approccio a ROI, eliminando così la necessità, da parte di un medico esperto, di identificare le aree patologiche sulle immagini e rendendo il procedimento interamente automatico.

A questo scopo, è stato ottenuto un template di connessioni cerebrali tramite l'utilizzo di dati acquisiti in soggetti sani. Un algoritmo di trattografia che prevede la caratterizzazione statistica del profilo di diffusione in ogni voxel è stato applicato a tali dati. Sono state considerate dieci connessioni di interesse per i pazienti TBI, tutte con origine nel talamo e dirette verso diverse aree corticali. E' stato scelto il talamo come zona di partenza (seed) per la trattografia poiché esso è una struttura cruciale per la trasmissione di informazioni, in particolare quelle relative alla funzione cognitiva, che spesso risulta danneggiata in questi pazienti. I risultati ottenuti per i soggetti sani sono stati utilizzati, dopo essere stati allineati ad uno spazio comune tramite trasformazioni lineari e non lineari, per creare un template medio di connettività cerebrale da talamo a corteccia. Questo è stato validato nei soggetti sani dimostrando che FA e MD campionate lungo i tratti definiti tramite il template e tramite trattografia individuale appartengono a distribuzioni statistiche che non mostrano differenze. In questo modo è stato dimostrato che è possibile quantificare FA e MD lungo le fibre di materia bianca considerate senza l'applicazione di un algoritmo di trattografia individuale per ogni soggetto. Oltre ai notevoli vantaggi in termini computazionali, questo permette di evitare di applicare il procedimento di trattografia a cervelli patologici. E' infatti possibile determinare che la trattografia su pazienti TBI non dà risultati soddisfacenti, a causa dei danni a carico della materia bianca.

FA e MD sono stati caratterizzati statisticamente per ogni soggetto malato e la loro distribuzione è stata confrontata con la distribuzione media dei controlli sani. E' possibile notare che FA e MD sono differenti tra sani e pazienti, in particolare l'indice MD risulta particolarmente sensibile a questo tipo di danno cerebrale. Infatti, un numero notevole di voxel nei pazienti presenta MD particolarmente alto rispetto al tessuto sano, identificando un danno cerebrale in modo automatico e accurato. Questi risultati sono stati presentati all'OHBM 2011.

Infine, è stata presa in considerazione una tecnica di analisi whole brain, la tract bases spatial statistics, che prevede un confronto statistico su tutti i voxel del cervello appartenenti al centro delle fibre di materia bianca. Questa è stata applicata a dati proveniente da un dataset messo a disposizione dal dipartimento di Neuroscienze dell'Università di Verona. Tale dataset è costituito da immagini da volontari sani, pazienti schizofrenici e pazienti affetti da disturbo bipolare. Si sono evidenziate differenze statistiche tra sani e pazienti, e tra pazienti schizofrenici e pazienti bipolari. Attualmente è

in corso un'analisi che prevede di integrare questi risultati ai risultati ottenibili attraverso un algoritmo di ricostruzione tridimensionale dei tratti cerebrali, e alla valutazione di caratteristiche neuropsicologiche caratteristiche dei pazienti.

*Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore*

**Diffusion tensor imaging and fiber tractography: new approaches to study altered microstructure and evaluation in different pathologies**

Supervisore: Alessandra Bertoldo

Parte 3 Pubblicazioni

*Elenco pubblicazioni su rivista internazionale*

1. M. Calabrese, F. Rinaldi, D. Seppi, A. Favaretto, L. Squarcina, I. Mattisi, P. Perini, A. Bertoldo, P. Gallo *Cortical diffusion tensor imaging abnormalities in Multiple Sclerosis cortex: a 3-year longitudinal study*, Radiology. 2011 Oct 26. [Epub ahead of print]

*Elenco pubblicazioni su convegno internazionale*

1. L. Squarcina, M. Calabrese<sup>2</sup>, A. Favaretto, I. Mattisi, P. Gallo, A. Bertoldo, *Diffusion-tensor MR imaging of cortical lesions in multiple sclerosis: a 1-year longitudinal study*, HBM 2010, Barcelona, Spain, 6 – 10 June 2010
2. M. Castellaro, L. Squarcina, D. Peruzzo, A. Bertoldo, M. Calabrese, P. Gallo, *Longitudinal analysis of the perfusion and diffusion parameters of cortical lesions and normal appearing cortical grey matter in multiple sclerosis*, ECTRIMS 2011, 19 – 22 October 2011
3. L. Squarcina, A. Bertoldo, D.J. Sharp *A novel thalamo-cortical tracts atlas to quantify connectivity damage after traumatic brain injury*, HBM 2011, Quebec City, Canada, 24 June – 1 July 2011
4. M. Calabrese, F. Rinaldi, D. Seppi, A. Favaretto, I. Mattisi, P. Perini, L. Squarcina, A. Bertoldo, P. Gallo *Fractional anisotropy is increased in the normal appearing cortical grey matter in multiple sclerosis. A three-year longitudinal study*, ECTRIMS 2011, 19 – 22 October 2011

**Elenco pubblicazioni su convegno nazionale**

1. L. Squarcina, M. Calabrese, A. Favaretto, I. Mattisi, P. Gallo, A. Bertoldo, *Cortical lesions in multiple sclerosis: a diffusion tensor imaging study*, Atti di Secondo Congresso Nazionale di Bioingegneria, Torino (Italia), 8 - 10 July 2010

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Squarcina Letizia** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Stocco Antonio** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### **Parte 1 Didattica**

#### **Corsi seguiti:**

*Nome del corso, docente:*

- *Pollution and prevention*, prof. G. B. Bartolucci;
- *Applied functional analysis*, prof. G. Pillonetto;
- *Physical models for the numerical simulation of semiconductor devices*, prof. G. Verzellesi;
- *Statistical methods*, prof. L. Finesso.

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

*"Titolo Seminario", relatore, data, luogo:*

- *"Dye sensitized solar cells: toward a low cost photovoltaics"*, prof. A. Di Carlo - Università Tor Vergata, 16-1-2009, DEI - UniPD;
- *"MIT iLabs: Towards a Community of Internet Accessible Laboratories"*, J.A. del Alamo - MIT, 24-3-2009, DEI - UniPD;
- *"Cellular Monte Carlo simulation of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors"*, prof. M. Saraniti e prof. S. Goodnick - ASU, 21-5-2009, DEI - UniPD;
- *"Gallium Nitride: The next dominant semiconductor after Silicon"*, Prof. Umesh K. Mishra - UCSB, 25-09-2009, DEI - UniPD;
- *"Crescita e collasso di sistemi economici e sociali complessi"*, prof. U. Bardi - Università di Firenze, 30-9-2009, DEI - UniPD;
- *"Alcuni suggerimenti per scrivere un articolo scientifico per le pubblicazioni della IEEE (Transactions o Magazine)"*, prof. M. Liserre - IEEE Industrial Electronic Magazine, 23-10-2009, DEI - UniPD;
- *"RFID: stato attuale e ruoli dei laboratori universitari"*, Prof. Luca Mari, Università Carlo Cattaneo - LIUC, 23-11-2009, DEI - UniPD;
- *"Oleds and organic solar cells"*, Thomas Riedle - Wuppertal University, 15-1-2010, DEI - UniPD;
- *"Spectrum optimized solar cells and green light emitter using engineered Si substrate"*, S.A. Ringel - Ohio State University, DEI - UniPD;

- “*Performance Trends and Limitations of Electronic Energy Processing Systems*”, prof. Johann W. Kolar - ETH University, 10-9-2010, DEI - UniPD;
- “*Sistemi innovativi di illuminazione basati su LED*”, ing. Scordino e Capeleto - OSRAM, 16-12-2010, DEI - UniPD;
- Giornata di studio su “*Illuminazione a stato solido: tecnologie, applicazioni e mercato dei LED*”, DEI – Università di Padova, 4-5-2011, Palazzo del Bo - UniPD;
- “*Solar workshop*”, Giakowa, 31-5-2011, DEI - UniPD.

#### **Partecipazione a Conferenze Internazionali:**

- 17th European Heterostructure Technology meeting - HeTech 2008, 2-5 Nov 2008, Venice - Italy;
- 33rd Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits - WOCSDICE 2009, 17-20 May 2009, Malaga - Spain;
- 18th European Heterostructure Technology meeting - HeTech 2009, 2-4 Nov 2009, Gunzburg - Germany;
- 34th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits - WOCSDICE 2010, 17-19 May 2010, Darmstadt/Seeheim - Germany.

#### **Permanenza all'estero:**

- primo periodo in ESA-ESTEC (Noordwijk - the Netherlands), dal 25-9-2010 al 26-11-2010;
- secondo periodo in ESA-ESTEC (Noordwijk - the Netherlands), dal 12-9-2011 al 9-12-2011.

## **Parte 2 Ricerca**

Descrizione dell'attività di ricerca

L'attività di ricerca dei tre anni di dottorato è stata incentrata sullo studio di alcune problematiche affidabilistiche degli HEMT su GaN adatti alle applicazioni sia in alta frequenza che in alta potenza, sull'analisi fisica del degrado causato dagli alti campi elettrici tra gate e drain, e sull'analisi approfondita di alcuni effetti parassiti che influenzano le caratteristiche statiche e dinamiche di tale tecnologia. In particolare i principali temi analizzati sono stati:

- progetto Task-Force: studio dell'affidabilità e dei principali meccanismi di degrado delle prestazioni in base alla diversa qualità del substrato;
- progetto ESA: studio dell'affidabilità e dei principali meccanismi di guasto agli alti campi elettrici su dispositivi adatti alle applicazioni spaziali;
- analisi dei meccanismi di guasto indotti da reverse-bias stress su precedenti wafer KorriGaN;
- studio degli effetti parassiti attraverso misure elettriche e di elettroluminescenza (in particolare dell'effetto kink);



- progetto MANGA: analisi degli effetti parassiti indotti dalla diversa composizione dell'eterostruttura e identificazione delle trappole responsabili del degrado delle prestazioni dinamiche.

All'interno del progetto Task-Force, fase conclusiva del progetto europeo KorriGaN, durante i tre anni di ricerca sono stati effettuati molti test di caratterizzazione e studi sull'affidabilità dei dispositivi del progetto. Lo scopo era quello di individuare le condizioni di funzionamento più critiche nell'ultimo set di dispositivi sviluppati a partire dai risultati ottenuti durante i precedenti anni di progetto, dando particolare importanza ai meccanismi di guasto responsabili della riduzione delle prestazioni, e ai diversi comportamenti indotti dalle diverse qualità dei substrati utilizzati. Perciò, durante il primo anno di dottorato sono state eseguite tutte le misure di caratterizzazione tipiche, statiche, dinamiche, di fotoemissione, oltre che a misure di load-pull, per avere una visione più completa del comportamento e dell'uniformità dei dispositivi nei 3 wafer del progetto. A termine della fase di caratterizzazione, sono stati eseguiti vari stress brevi per valutare la robustezza agli alti campi elettrici, dimostrando un significativo miglioramento rispetto ai dispositivi sviluppati negli anni precedenti, con tensioni critiche di rottura oltre i 100V. Tali risultati sono stati confermati in tutti i wafer, indipendentemente dalla qualità del substrato, sottolineando come un buon processing dei dispositivi possa completamente mascherare la scarsa qualità dell'epitassia o dei substrati utilizzati. Data l'ottima robustezza a canale chiuso, durante il secondo e terzo anno sono stati eseguiti molti test a canale aperto, con l'obiettivo di studiare i principali meccanismi di guasto in condizioni più vicine a quelle operative. A canale aperto, l'analisi dei principali meccanismi di guasto e dei fattori di accelerazione del degrado ha mostrato un particolare meccanismo di degradazione accelerato dagli elettroni caldi presenti all'interno del canale (quantificato attraverso misure di elettroluminescenza EL), con una trascurabile influenza della temperatura di test. Questo è uno dei primi risultati che mostra chiaramente l'influenza degli elettroni caldi nei meccanismi di degrado degli HEMT su GaN.

Nel progetto ESA, sono stati condotti degli analoghi studi su affidabilità e meccanismi di guasto su dispositivi designati per l'applicazione spaziale. L'attività è stata sviluppata sia all'interno dei laboratori di microelettronica di Padova, sia all'interno del centro di ricerca dell'Agenzia Spaziale Europea ESA-ESTEC in Olanda, per un periodo complessivo di mobilità di 5 mesi. Nel primo periodo di mobilità (secondo anno di dottorato), sono stati studiati nel dettaglio i diversi approcci e setup di misura dei due laboratori, in modo da identificare le differenze e definire un approccio di misura che consenta un corretto e coerente scambio di informazioni durante tutta la fase di test successiva, eseguita in parallelo tra i due laboratori. A seguito, è stata avviata una campagna di test a breve e a lungo termine (terzo anno di dottorato) con l'obiettivo di verificare i limiti operativi dei dispositivi e dare una stima del tempo di vita dei campioni in condizioni simili a quelle operative. Dai test effettuati si è potuto osservare:

- un'ottima stabilità nei test a breve termine oltre i 100V di tensione di drain in tutte le condizioni operative, ma con diversi meccanismi di guasto tra la regione a canale completamente chiuso, la regione a canale completamente aperto, e la regione intermedia appena sopra la soglia (regione molto interessante nell'applicazione reale);

- una buona resistenza alle alte temperature nei test di storage fino ai 350°C, temperatura a cui il diodo di gate degrada già nelle prime ore di test, causando un aumento del leakage di qualche ordine di grandezza che rende il campione non più efficiente;
- dopo alcune centinaia di ore di stress, buona robustezza dei dispositivi sottoposti ai test di vita accelerati (tuttora in corso), in tutte e tre le condizioni di polarizzazione.

Nello studio della degradazione indotta dagli stress in polarizzazioni inversa sul gate, sono stati eseguiti test elettrico-ottici e analisi di guasto per comprendere meglio quali siano i meccanismi di guasto coinvolti nella degradazione del gate nelle precedenti tecnologie di GaN-HEMT. Nel corso degli ultimi 2 anni di dottorato, sono stati eseguiti vari step-stress in inversa su una serie di wafer provenienti da progetti di ricerca degli anni passati, osservando come la diversa composizione dello strato barriera nell'eterostruttura non sembra avere una chiara dipendenza con la cosiddetta "tensione critica", almeno nei campioni da noi testati. Si è potuto solo notare una lieve correlazione tra la tensione critica e il diverso valore di leakage di gate presente prima del test, a sua volta lievemente correlato con lo spessore della barriera del campione in esame. Test a tensione costante, invece, hanno messo in evidenza l'influenza del tempo di stress. Infatti, su campioni di un wafer con "tensione critica" di circa 35V identificata con la classica struttura dello step-stress adoperata finora, è stato possibile notare lo stesso meccanismo di guasto anche a tensioni ben inferiori (15V), semplicemente aumentando il tempo di stress. Inoltre, a parità di tensione di stress, si è osservata una buona correlazione tra il valore iniziale del leakage e l'istante in cui avviene il primo degrado della corrente di gate. Dai risultati ottenuti con questo tipo di stress, sembra che il meccanismo di guasto non sia solamente legato al campo elettrico/tensione applicata, ma sia anche considerevolmente influenzato dalla difettosità iniziale del campione, quantificata nel livello di leakage di gate pre-stress, e dal tempo di stress. Su alcuni campioni, poi, sono state eseguite approfondite indagini di guasto per meglio comprendere l'evoluzione fisica del meccanismo di rottura, attraverso analisi TEM, SEM, EBIC e AFM, seguendo alcuni studi recentemente riportati in letteratura. I risultati hanno permesso di verificare la presenza di difetti pre-esistenti e solo in certi casi di identificare la comparsa di alcuni difetti indotti dallo stress, evidenziando l'enorme difficoltà e talvolta l'impossibilità di localizzare dei difetti con dimensioni di scala nanometrica nei diversi strati di semiconduttore (cracks), almeno durante le prime fasi di degrado del campione, soprattutto su dispositivi caratterizzati da una struttura superficiale già piena di difetti cristallini.

Per quanto riguarda, invece, lo studio di alcuni effetti parassiti presenti negli HEMT su GaN, durante il secondo anno di dottorato sono stati eseguiti vari test basati sullo studio combinato di misure elettriche, di Elettroluminescenza (EL) e di Catodoluminescenza (CL), per analizzare il cosiddetto "*kink effect*", un effetto che produce un rapido incremento della corrente di drain al di sopra di certe tensioni  $V_{DS}$ . Dai dati già ottenuti in passato, era nota la correlazione tra tale effetto e la presenza di una banda gialla nelle misure di CL. A seguito di nuovi test, nuove analisi di EL e spettri di EL, si è notato come tale banda gialla compaia anche negli spettri di EL al di sopra di certe tensioni di drain, segno che i dati ottenuti dalle due analisi mostrano lo stesso effetto. Si pensa, infatti, che

al di sopra di certe tensioni di drain, gli elettroni possano aver sufficiente energia per detrappolare le cariche intrappolate in alcuni livelli profondi responsabili della banda gialla (yellow luminescence), favorendo poi le ricombinazioni verso questa stessa banda data la presenza di stati accettori liberi (ricombinazione radiativa nello banda del giallo). Nell'ambito del progetto europeo MANGA, durante l'ultimo anno di dottorato sono stati avviati una serie di test con l'obiettivo di analizzare gli effetti parassiti presenti negli HEMT realizzati all'interno del progetto, e identificare le trappole responsabili di tale degrado delle prestazioni dinamiche. In particolare l'attenzione è stata posta sulle caratteristiche dinamiche dei dispositivi cresciuti con diversa concentrazione di alluminio nello strato barriera  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  e con diversa presenza di drogante (in particolare di Ferro) nello strato buffer GaN. L'uso combinato di misure SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) e simulazioni numeriche accanto alle misure dinamiche, hanno permesso di comprendere meglio l'andamento non regolare del collasso di corrente in funzione della concentrazione del Ferro, chiarendo tale comportamento sulla base dei diversi profili di drogante presenti all'interno dello strato buffer, in particolare nella zona più vicina al canale. È stato perciò possibile correlare l'incremento del collasso nei punti di polarizzazione a maggior campo elettrico con la concentrazione di Fe nel buffer, identificando inoltre l'energia di attivazione della trappola maggiormente responsabile di tale fenomeno.

#### **Titolo definitivo della tesi**

“Reliability and failure mechanisms of GaN HEMT devices suitable for high-frequency and high-power applications”

Nome del supervisore: prof. Gaudenzio Meneghesso

#### **Parte 3 Pubblicazioni**

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale:

- M. Meneghini, N. Ronchi, A. Stocco, G. Meneghesso, U. K. Mishra, Y. Pei, and E. Zanoni, “Investigation of Trapping and Hot-Electron Effects in GaN HEMTs by Means of a Combined Electrooptical Method”, IEEE Transaction on Electron Devices, vol. 58, no. 9, Sept 2011, pp. 2996-3003;
- M. Meneghini, A. Stocco, N. Ronchi, F. Rossi, G. Salviati, G. Meneghesso, and E. Zanoni, “Extensive analysis of the luminescence properties of AlGaIn/GaN high electron mobility transistors”, Applied Physics Letters 2010, vol. 97, issue 6, pp. 063508;
- D.A. Cullen, D.J. Smith, A. Stocco, G. Meneghesso, E. Zanoni, and M.R. McCartney, “Characterization of Localized Degradation in Reverse-Biased GaN HEMTs by Scanning Transmission Electron Microscopy and Electron Holography”, Microscopy and Microanalysis (2010), vol. 16, pp. 800-801;
- G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, A. Chini, and E. Zanoni, “Reliability issues of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors”,

International Journal of Microwave and Wireless Technologies - 2010, vol. 2, issue 01, pp. 39-50;

- N. Ronchi, F. Zanon, A. Stocco, A. Tazzoli, E. Zanoni, and G. Meneghesso, "Reliability analysis of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT on SopSiC composite substrate under long term DC life test", Microelectronics Reliability special issue "ESREF 2009", vol. 49, issues 9-11, pp. 1207-1210.

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale:

- M. Meneghini, A. Stocco, M. Bertin, N. Ronchi, A. Chini, D. Marcon, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Electroluminescence analysis of time-dependent reverse-bias degradation of HEMTs: a complete model", accepted for oral presentation at the IEEE International Electron Device Meeting, 5-7 Dec 2011, Washington - DC;
- F. Rampazzo, A. Stocco, R. Silvestri, M. Meneghini, N. Ronchi, D Bisi, F. Soci, A. Chini, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "Impact of Hot Electrons on the Reliability of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> High Electron Mobility Transistors", 20th European Heterostructure Technology meeting (HeTech 2011), 7-9 Nov 2011, Lille - France;
- A. Zanandrea, F. Rampazzo, A. Stocco, E. Zanoni, D Bisi, F. Soci, A. Chini, P. Ivo, J. Wuerfl, and G. Meneghesso, "DC and Pulsed Characterization of Ga<sub>N</sub>-based Single- and Double-Heterostructure Devices", 20th European Heterostructure Technology meeting (HeTech 2011), 7-9 Nov 2011, Lille - France;
- E. Zanoni, G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Stocco, F. Rampazzo, R. Silvestri, I. Rossetto, and N. Ronchi, "Electric-field and thermally-activated failure mechanisms of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> High Electron Mobility Transistors", invited paper at the 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, 9-14 Oct 2011, Boston - Massachusetts;
- A. Stocco, N. Ronchi, G. Meneghesso, E. Zanoni, F. Roccaforte, and V. Raineri, "Electrical and reliability investigation of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTs grown on 8° off-axis 4H-SiC", 35th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE 2011), pp. 153-154, 29 May-1 Jun 2011, Catania - Italy;
- M. Meneghini, N. Ronchi, A. Stocco, F. Rampazzo, G. Meneghesso, U. K. Mishra, Y. Pei, and E. Zanoni, "Combined electro-optical analysis of trapping effects in AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTs", International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS 2011), 22-26 May 2011, Berlin - Germany;
- N. Ronchi, M. Meneghini, A. Stocco, G. Meneghesso, E. Zanoni, S. Tirelli, and C.R. Bolognesi, "A study of trapping phenomena on Recessed-Gate AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>-

- on-Silicon HEMT*", 19th European Heterostructure Technology meeting (HeTech 2010), 18-20 Oct 2010, Fodele - Crete - Greece;
- G. Meneghesso, N. Ronchi, A. Stocco, E. Zanoni, E. Piner, S. Tirelli, A.R. Alt, and C.R. Bolognesi, "*Trapping and high-field characterization in Recessed-Gate AlGaIn/GaN-on-Silicon HEMT*", International Workshop on Nitride semiconductors (IWN 2010), 19-24 Sept 2010, Tampa - Florida;
  - G. Meneghesso, A. Stocco, N. Ronchi, E. Zanoni, R. Cuerdo, F. Calle, E. Munoz, and M. J. Uren, "*Kink and cathodoluminescence in AlGaIn/GaN HEMTs*", 34th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE 2010), 17-19 May 2010, Darmstadt/Seeheim - Germany;
  - A. Stocco, N. Ronchi, A. Chini, P.A. Nilsson, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "*High robustness GaN HEMT subject to reverse bias stress*", 34th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE 2010), 17-19 May 2010, Darmstadt/Seeheim - Germany;
  - A. Chini, F. Fantini, V. Di Lecce, M. Esposito, A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, G. Meneghesso, and E. Zanoni, "*Correlation between DC and rf degradation due to deep levels in AlGaIn/GaN HEMTs*", IEEE International Electron Device Meeting, 7-9 Dec 2009, Baltimore - Maryland;
  - A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, E. Zanoni, G. Meneghesso, A. Chini, and M. Peroni, "*Trap analysis on GaN HEMT after DC accelerated tests*", 18th European Heterostructure Technology meeting (HeTech '09), 2-4 Nov 2009, Gunzburg - Germany;
  - G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, E. Zanoni, V. Di Lecce, M. Esposito, and A. Chini, "*GaN HEMT degradation induced by reverse gate bias stress*", 8th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-8), 18-23 Oct 2009, Jeju - Korea;
  - E. Zanoni, G. Meneghesso, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, F. Zanon, A. Chini, G. Verzellesi, A. Cetronio, C. Lanzieri, and M. Peroni, "*Long-term stability of Gallium Nitride High Electron Mobility Transistors: a reliability physics approach*", European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC 2009), pp. 212-217, 28-29 Sept 2009, Rome - Italy;
  - E. Zanoni, M. Meneghini, A. Tazzoli, N. Ronchi, A. Stocco, V. Di Lecce, M. Esposito, A. Chini, and G. Meneghesso, "*Reverse gate bias stress induced degradation of GaN HEMT*", International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS 2009), 30 Aug-2 Sept 2009, UCSB - California;
  - A. Stocco, N. Ronchi, F. Zanon, E. Zanoni, and G. Meneghesso, "*Breakdown Walkout induced by reverse bias stress in AlGaIn/GaN HEMTs*", 33rd Workshop on

Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE '09), 17-20 May 2009, Malaga - Spain;

- F. Zanon, N. Ronchi, F. Danesin, P. Bove, R. Langer, J. Thorpe, A. Stocco, and G. Meneghesso, "*An investigation of reliability on hybrid substrates GaN-HEMTs*", 17th European Heterostructure Technology meeting (HeTech '08), 2-5 Nov 2008, Venice - Italy.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Stocco Antonio** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Tapparello Cristiano** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

#### Parte 1 - DIDATTICA

- Elenco dei corsi seguiti:
  - Applied Linear Algebra
  - Stochastic Modeling of Computer and Communication Systems
  - Codes, Graphical Models, Distributed Algorithms
  - Statistical Methods
  - Optimization for Wireless Network (ECE788), Dr. Osvaldo Simeone, ECE department, New Jersey Institute of Technology (NJIT), Newark, NJ, US.
  
- Elenco dei seminari seguiti al DEI o in altre sedi:
  - 04/02/2009, Aula Magna "A. Lepschy", The Analysis and Design of the Steady-State Behavior of Nonlinear Systems: Taming Nonlinear Excursions in the Spirit of Lagrangia and Liapunov, Prof. Christopher I. Byrnes
  - 26/02/2009, Sala Riunioni DEI/G, Parsimonious Flooding in Dynamic Graphs, Prof. Pierluigi Crescenzi
  - 11/03/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Towards Categorization in Sensory System, Prof. Pietro Perona
  - 18/03/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Management and Policy in Mission-Oriented Sensor Networks, Prof. Tom La Porta
  - 24/03/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Towards a Community of Internet Accessible Laboratories, Prof. Jesus A. del Alamo
  - 22/04/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Tecniche di Caratterizzazione e Controllo di Traffico Crittografato, Ing. Maurizio Dusi
  - 07/05/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Robustness in Biological Networks: From Genes to Cells to Systems, Prof. Francis J. Doyle III
  - 17/06/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Employment of wireless sensor networks for domestic applications, Dr. Andreas Willig
  - 25/09/2009, Aula Magna "A. Lepschy", Gallium Nitride: The next dominant semiconductor after Silicon, Prof. Umesh K. Mishra
  - 16/12/2009, Some Results on a Networked Physical Layer and Questions for Cross-layer Approaches, Prof. Urbashi Mitra, University of Southern California

- 26/02/2010, Aula Magna “A. Lepschy”, Omnidirectional vision: from calibration to robot motion estimation, Dr. Davide Scaramuzza
  - 18/03/2010, Hidden Markov Models as general-purpose models for time series, Prof. Walter Zucchini, Georg-August-Universität Göttingen
  - 12/04/2010, Optimal Time and Rate Allocation for a Network-coded Bidirectional Two-Hop Communication, Dr. Francesco Rossetto, DLR, Institute of Communications and Navigation Munich, Germany
  - 28/04/2010, Stochastic Control Through Limited Capacity Channels, Dr. Alireza Farhadi, NeCS-INRIA, Grenoble, France
  - 28/06/2010, Communication to within a fidelity criterion in unknown networks, Prof. Mukul Agarwal, Department of Electrical Engineering, MIT
  - 21/07/2010, An Overview on F-Lipschitz Optimization with Wireless Networks Applications, Prof. Carlo Fischione, KTH Stoccolma
  - 21/10/2010, Aula Magna “A. Lepschy”, Filosofia della matematica e matematica della filosofia, Prof. Piergiorgio Odifreddi
  - 17/01/2011, Aula Magna “A. Lepschy”, Quantum computation and simulation with Pothons, Dr. Giuseppe Vallone, University of Roma La Sapienza, Italy.
  - 28/01/2011, Aula Magna “A. Lepschy”, Power harvesting towards autonomous RFIDs and wireless sensors, Dr. Apostolos Georgiadis, CTTC, Spain.
  - 24/02/2011, Aula Magna “A. Lepschy”, MIMO Transceiver Design via Majorization Theory: from single- to multi-hop networks, Dr. Luca Sanguinetti, University of Pisa, Italy.
  - 07/04/2011, Aula Magna “A. Lepschy”, Some Recent Results on Underwater Acoustic Communications, Prof. Liuting Yang, Department of Electrical and Computer Engineering, State University, USA.
  - 22/08/2011, ECEC 202 NJIT, Hybrid Sparse/Diffuse UWB Channel Estimation, Nicolò Michelusi, University of Padova, Italy.
  - 07/09/2011, ECEC 202 NJIT, Spectrum Leasing via Cooperation, Tariq Elkourdi, New Jersey Institute of Technology (NJIT), NJ, US.
  - 21/09/2011, ECEC 202 NJIT, Energy Harvesting-Aware Design of Wireless Networks, Fabio Iannello, Politecnico di Milano, Italy - New Jersey Institute of Technology (NJIT), NJ, US.
  - 29/09/2011, ECEC 202 NJIT, Random Matrix Methods in Compressed Sensing, Antonia M. Tulino, Bell Laboratories, Alcatel-Lucent, Holmdel, NJ, US.
  - 26/10/2011, ECEC 202 NJIT, Game-Theoretic Design for Networked Communities, Mihaela van der Schaar, University of California, Los Angeles, CA, US.
- Partecipazione a Conferenze Internazionali:
    - IEEE SECON, Rome, Italy. June 22-26, 2009
    - ICUMT, October 18-20, 2010, Moscow, Russia.



- Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2011, Pacific Grove, CA, US. November 6-9, 2011.
- Didattica Attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori):
  - Ho curato 12 ore di didattica integrativa, in 6 giorni distinti (01/04, 08/04, 12/04, 19/04, 03/05 e 24/05), all'interno del corso "Sistemi e Reti Wireless", docente Dr. Michele Rossi.
- Permanenza all'estero:
  - a. Dal 17 Maggio al 14 Novembre 2011 sono stato in visita, in qualità di Research Associate, presso il dipartimento di Electrical and Computer Engineering del New Jersey Institute of Technology (NJIT), Newark, NJ, US, sotto la supervisione del Dr. Osvaldo Simeone.

## Parte 2 - RICERCA

### TITOLO DEFINITIVO DELLA TESI:

Design of cooperative networking protocols in wireless network through stochastic optimization techniques

SUPERVISORE: Dr. Michele Rossi

### Descrizione dell'attività di ricerca svolta durante il dottorato:

Durante il dottorato di ricerca mi sono dedicato allo studio e alla realizzazione di modelli matematici che ottimizzano le trasmissioni all'interno di una rete wireless cooperativa e nella loro successiva implementazione in algoritmi di risoluzione efficienti attraverso tecniche di ottimizzazione stocastica.

Durante i tre anni di dottorato ho considerato e studiato diversi paradigmi di cooperazione. A partire dal primo anno, ho considerato un sistema di trasmissione che, a differenza dell'approccio tradizionale che prevede per ogni comunicazione la presenza di un solo nodo trasmettitore, considera la possibilità di utilizzare la cooperazione, intesa come trasmissione simultanea da parte di più nodi della rete, al fine di migliorare la probabilità di ricezione da parte del nodo ricevitore. A tal proposito ho, per prima cosa, esteso il lavoro realizzato durante il periodo di tesi magistrale, il che ha portato allo sviluppo di uno strumento analitico per la determinazione di politiche di cooperazione per ottimizzare la trasmissione di un messaggio tra un nodo sorgente ed un nodo destinazione all'interno di una rete radio distribuita multi salto. La pubblicazione relativa è stata pubblicata su rivista internazionale. In questo lavoro ho proposto un algoritmo di ottimizzazione centralizzato in grado di determinare le performance ottime ottenibili da una rete wireless che utilizza il meccanismo di cooperazione tra i trasmettitori sopra delineato. Durante l'ultimo anno di ricerca ho quindi utilizzato i risultati teorici che ho ottenuto in questo lavoro per proporre alcune politiche di cooperazione distribuite. Utilizzando livelli di complessità crescente, in termini di computazione e scambio di informazioni tra i nodi della rete, ho realizzato tre schemi di selezione dei trasmettitori che raggiungono, on-line ed in modo distribuito, performance che si avvicinano a quelle ottime. Questa attività di ricerca ha portato alla realizzazione di una pubblicazione che è stata sottomessa a convegno internazionale. Ho poi sviluppato un nuovo modello che ho implementato in modo efficiente per determinare la politica di cooperazione ottima

all'interno di una rete radio nella quale più coppie di nodi vogliono comunicare contemporaneamente, tenendo in considerazione l'interferenza che trasmissioni simultanee comportano. La pubblicazione relativa è stata pubblicata su convegno internazionale.

Ho poi considerato la cooperazione all'interno di una rete radio che utilizza la tecnica dello spectrum leasing. In particolare, ho considerato che all'interno della rete coesistono due sottoreti, una primaria che detiene la licenza sulla banda ed una secondaria senza licenza. La rete primaria è composta da una sorgente ed una destinazione che comunicano attraverso una serie di nodi ripetitori primari. I nodi della rete secondaria possono essere utilizzati come ripetitori aggiuntivi per la rete primaria e vengono ricompensati per la loro cooperazione con la possibilità di trasmettere il proprio traffico con una garantita qualità del servizio. Ho quindi modellato matematicamente il problema al fine di determinare l'effettiva utilità dell'utilizzo dei nodi ripetitori secondari e le prestazioni che la rete primaria può raggiungere attraverso questa cooperazione. Il lavoro ha portato ad una pubblicazione che è stata pubblicata su convegno internazionale ed è stato selezionato come finalista per lo Student Paper Contest.

Durante il terzo anno di dottorato ho considerato, in collaborazione con il Dr. Osvaldo Simeone del New Jersey Institute of Technology (NJIT) presso cui sono stato in visita per un periodo di 6 mesi, un terzo paradigma di cooperazione. In particolare, il lavoro consiste nella modellizzazione e nel successivo sviluppo di un algoritmo di ottimizzazione del problema della acquisizione di dati distribuita in reti di sensori, in presenza di sistemi di alimentazione ad energia rinnovabile. Ho considerato uno scenario nel quale i nodi della rete possono comprimere i dati acquisiti in modo cooperativo sfruttando la correlazione delle misure, operazione che comporta un certo consumo energetico ma che riduce la quantità di informazione da propagare nella rete e di conseguenza la quantità di energia necessaria per la trasmissione. Attraverso l'utilizzo di codici a sorgente presenti in letteratura, ho inoltre considerato la possibilità che la compressione introduca una distorsione nei dati raccolti (compressione con perdita di informazione, lossy). Tale distorsione può essere controllata e rappresenta il trade-off tra la quantità di energia spesa per la compressione e la qualità e possibilità di ricostruzione dei dati acquisiti (un livello di distorsione maggiore comporta una energia di compressione minore ma allo stesso tempo riduce la qualità e la possibilità di completa ricostruzione dei dati acquisiti). Dal punto di vista energetico, invece, abbiamo considerato che ciascun nodo della rete di sensori possa raccogliere energia dall'ambiente (per esempio attraverso celle solari) in modo da ripristinare la propria riserva energetica. Attraverso una appropriata formulazione matematica del problema ho studiato l'andamento di una rete di sensori di questo tipo, e ho valutato in particolare l'impatto del processo di rinnovamento dell'energia sulle prestazioni complessive della rete. Ho affrontato il problema utilizzando la tecnica di ottimizzazione di Lyapunov, la quale consente di determinare in modo efficiente delle politiche di acquisizione dei dati e di controllo dell'energia. Il lavoro sarà sottomesso per la pubblicazione su rivista internazionale entro la fine dell'anno.

Parallelamente a queste attività, durante il primo anno di dottorato ho realizzato un'interfaccia Java per la riprogrammazione di una rete di sensori tramite Synapse++, lavoro che ho presentato a convegno internazionale. Durante il secondo anno, ho infine avviato uno studio per realizzare un modello matematico che permetta di determinare il percorso e le potenze di trasmissione da utilizzare per trasmettere dati da un nodo sorgente ad una destinazione attraverso salti multipli, utilizzando un approccio a portanti multiple. Il lavoro si è rivelato molto complesso ed attualmente non ho ancora sviluppato un modello in grado di rendere trattabile il problema per reti complesse.

### Parte 3 - PUBBLICAZIONI

#### Elenco pubblicazioni su rivista internazionale:

- Michele Rossi, Cristiano Tapparello and Stefano Tomasin, On Optimal Cooperator Selection Policies for Multi-Hop Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, n. 2, February 2011, pp. 506-518. M
- Cristiano Tapparello, Michele Rossi and Osvaldo Simeone, Optimal Joint Routing and Energy Management in Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks with Correlated Measurements, in preparazione. C

#### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale:

- Nicola Bui, Cristiano Tapparello, Michele Rossi and Michele Zorzi, Reprogramming over the Air and Sensor Island Management through Synapse++, IEEE SECON, Rome, Italy. June 22-26, 2009. N
- Cristiano Tapparello, Stefano Tomasin and Michele Rossi, On Interference-Aware Cooperation Policies for Wireless Ad Hoc Networks, ICUMT, October 18-20, 2010, Moscow, Russia. C
- Cristiano Tapparello, Davide Chiarotto, Michele Rossi, Osvaldo Simeone and Michele Zorzi, Spectrum Leasing via Cooperative Opportunistic Routing in Distributed Ad Hoc Network: Optimal and Heuristic Policies, Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2011, Pacific Grove, CA, US. November 6-9, 2011. C

Cristiano Tapparello, Stefano Tomasin and Michele Rossi, Online Policies for Opportunistic Virtual MISO Routing in Wireless Ad Hoc Networks, sottomesso a IEEE WCNC 2012, Paris, France.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Tapparello Cristiano** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Tomasi Beatrice** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### **Parte 1 Didattica**

#### **Corsi seguiti**

- Applied Linear Algebra
- Codes, graphical models, distributed algorithms
- Stochastic Modeling of Computer and Communication Systems
- Statistical Methods

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

Partecipazione al corso "Filtering, data analysis and optimization of uncertain systems" tenutosi presso il Politecnico di Milano nell'ambito della scuola di Dottorato in Ingegneria dell'informazione dal 28-09-2009 al 30-09-2009.

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

Data e ora di svolgimento: 22-04-2009 14:30  
Titolo: Tecniche di caratterizzazione e controllo di traffico crittografato  
Relatore: ing. Maurizio Dusi  
Luogo: Aula Magna "A. Lepschy"

Data e ora di svolgimento: 18/03/2009 15:00,  
Titolo: Management and Policy in Mission-Oriented Sensor Networks  
Relatore: Prof. Tom La Porta  
Luogo: Aula Magna "A. Lepschy"

Data e ora di svolgimento: 11-03-2009 15:00  
Titolo: Towards categorization in sensory systems  
Relatore: Prof. Pietro Perona  
Luogo: Aula Magna A. Lepschy

Data di svolgimento: 24-06-2010

Titolo: Wind Integration -- By All Means Available

Relatore: Prof. Kameshwar Poolla

Data di svolgimento: 12-04-2010

Titolo: Optimal Time and Rate Allocation for a Network-coded Bidirectional Two-Hop Communication

Relatore: Dr. Francesco Rossetto

Data di svolgimento: 18-03-2010

Titolo: Hidden Markov Models as general-purpose models for time series

Relatore: Prof. Walter Zucchini

Data di svolgimento: 16-12-2009

Titolo: Some Results on a Networked Physical Layer and Questions for Cross-layer Approaches

Relatore: Prof. Urbashi Mitra

Data di svolgimento: 31-01-2011

Titolo: Moving 3-D ocean structure and its effect on acoustic propagation in the SW06 experiment

Relatore: Dr. Boris Katznelson

Data di svolgimento: 16-03-2011

Titolo: Signal processing challenges in oceanography: Crossing the barrier of traditional assumptions

Relatore: Dr. Ananya Sen Gupta

Data di svolgimento: 14-09-2011

Titolo: Honeycomb-Structured Computational Interconnects and their Scalable Extension to Spherical Domains

Relatore: Prof. Thomas Bewley

### **Partecipazione a Conferenze Nazionali**

Italian Networking Workshop 2009

### **Partecipazione a Conferenze Internazionali**

IEEE Oceans 2010 Sydney

IEEE Milcom 2010 San Josè

ACM WUWNet 2010 Woods Hole

ACM WUWNet 2011 Seattle

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

Durante il secondo semestre dell'anno accademico 2009/2010 ho svolto l'attività di didattica di supporto, in qualità di assistente in laboratorio per il corso "Laboratorio di Reti e Protocolli" tenuto dal Prof. Michele Zorzi.

E' previsto lo svolgimento di 12 ore di attività didattica di supporto durante il primo semestre per il corso Telecomunicazioni (Canale 2) tenuto dal professor Leonardo Badia nel corso di Laurea Triennale in Ingegneria dell'Informazione a.a. 2011/2012.

### **Permanenza all'estero**

Nel primo anno, dal 28 Maggio al 28 Agosto ho trascorso un periodo al NURC (NATO Undersea Research Center) di La Spezia.

Tra il secondo e il terzo anno, si è svolto un periodo di 11 mesi (da Settembre 2010 a Settembre 2011, con rientro in Italia per un mese a Maggio) presso l'istituto di oceanografia di Woods Hole (WHOI).

### **Parte 2 Ricerca**

L'attività di ricerca del primo anno è stata incentrata sull'analisi dei dati forniti dal centro di ricerca NURC di La Spezia, con lo scopo di stabilire un modello di canale per le comunicazioni acustiche sottomarine. In particolare l'attività è consistita nella stima di power delay profile del canale e delle correlazioni spazio-temporali dei segnali misurati.

Inoltre si sono approfonditi lo studio della propagazione acustica sottomarina e lo studio delle analisi svolte (anche nel caso radio) per ottenere un modello di canale statistico.

Una prima parte dell'attività di ricerca svolta si è focalizzata sulla caratterizzazione del power delay profile e del coefficiente di correlazione temporale della risposta impulsiva del canale sottomarino. Tali statistiche sono state stimate a partire da un esteso data set, collezionato durante una collaborazione svolta nel primo anno di dottorato. Tale studio è servito a comprendere l'ordine di grandezza del tempo di coerenza per le comunicazioni acustiche sottomarine entro una certa banda. Inoltre è servito anche a comprendere meglio le cause ambientali che determinano tali caratteristiche statistiche del segnale sottomarino, e a utilizzare meglio uno strumento di ray-tracing.

Il lavoro svolto successivamente si è focalizzato sulla statistica del processo degli errori sul pacchetto. In particolare si sono studiati alcuni modelli markoviani validando quelli in grado di rappresentare la correlazione degli errori su diversi link punto-punto. Questo lavoro è servito a comprendere meglio gli strumenti in grado di rappresentare le correlazioni temporali del processo degli errori e a considerare ulteriori applicazioni di tali tecniche come tecniche di predizione basate su un learning del link in grado poi di determinare una decisione ai diversi layer in grado di sfruttare le condizioni di canale.

Data la variabilità delle condizioni di canale osservate durante gli esperimenti, ci si è focalizzati sullo studio della tecniche di modulazione adattiva nel caso sottomarino. In particolare si sono confrontate le prestazioni di un sistema adattivo con sistemi a rate

fisso, confermando la maggiore efficienza del sistema adattivo anche nel caso sottomarino. Inoltre si sono confrontate curve analitiche, dedotte considerando diverse statistiche del canale, con le curve risultate da simulazioni basate sui dati sperimentali, validando così un modello della statistica del fading. Tale lavoro è servito a comprendere la validità delle tecniche adattive nelle comunicazioni e reti sottomarine.

In seguito il lavoro è proseguito con lo studio delle prestazioni di un sistema di correzione di errore di ARQ ibrido. Tale lavoro è giustificato dall'esigenza di rendere le comunicazioni più affidabili. Il lavoro fatto consiste nel confrontare le prestazioni calcolate mediante simulazioni basate su dati sperimentali con quelle calcolate da un modello analitico markoviano, sviluppato in letteratura. Il lavoro è servito a validare un modello markoviano per il canale sottomarino.

L'attività scientifica svolta durante il terzo anno è stata focalizzata a finalizzare l'attività iniziata negli anni precedenti. In particolare, si è continuato con lo studio delle caratteristiche statistiche del mezzo di comunicazione acustico sottomarino, evidenziandone gli effetti sul livello fisico e data link layer dello stack protocollare. Inoltre, si sono proposte delle soluzioni alle problematiche tipiche delle comunicazioni acustiche sottomarine, pur sempre considerandone le peculiarità.

Nello specifico, inizialmente si è verificata l'ipotesi di stazionarietà statistica in senso lato, ovvero che i momenti del primo e del secondo ordine della metrica in esame rimanessero costanti nel tempo, per metriche come il rapporto segnale-rumore all'ingresso del ricevitore e l'errore di stima del canale. Questo studio ha permesso di verificare l'ordine di grandezza di intervalli temporali di stazionarietà per sistemi di comunicazione a ricezione coerente ed incoerente.

Successivamente, si sono valutate tecniche predittive delle prestazioni del sistema di comunicazione, in quanto le latenze introdotte dal ritardo di propagazione solleva problematiche di feedback non istantaneo. Infatti, anche se tecniche adattive sono adatte a fronteggiare il problema delle condizioni di canale tempo-varianti, sono efficaci soltanto se le condizioni non cambiano mentre al trasmettitore viene richiesto di adattare i parametri di trasmissione in base alle condizioni di canale. Tuttavia, dato che la propagazione acustica sott'acqua può impiegare tempi dell'ordine di secondi su distanze di qualche chilometro, il feedback non può ritenersi "istantaneo", quindi la soluzione proposta è l'utilizzo di predittori.

Durante quest'anno si sono consolidate le competenze e conoscenze precedentemente acquisite. Inoltre si sono acquisite nuove metodologie ed esperienze sul campo, grazie alla partecipazione ad una campagna di esperimenti in mare durante l'estate 2011.

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

The Underwater Acoustic Channel and its Impact on Adaptive Communications Schemes and Networking Protocols  
Michele Zorzi

### **Parte 3 Pubblicazioni**

### Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

- Beatrice Tomasi, James C. Presig, and Michele Zorzi, “*On the Predictability of Underwater Acoustic Communications Performance: the KAM11 Data Set as a Case Study*”, accepted at *ACM WUWNet 2011*, Seattle, Washington, Dec. 2011
- Beatrice Tomasi, Laura Toni, Paolo Casari, James C. Presig, and Michele Zorzi, “*A Study on the SPIHT Image Coding Technique for Underwater Acoustic Communications*”, accepted at *ACM WUWNet 2011*, Seattle, Washington, Dec. 2011
- Nicolò Michelusi, Beatrice Tomasi, Urbashi Mitra, James Preisig, and Michele Zorzi, “*An Evaluation of the Hybrid Sparse-Diffuse Algorithm for Underwater Acoustic Channel Estimation*”, *Proc. of MTS/IEE OCEANS 2011*, Kona, Hawaii, Sept. 2011
- Paolo Casari, Beatrice Tomasi, Konstantinos Pelekanakis, Mandar Chitre, and Michele Zorzi, “*Performance Evaluation of SNR Prediction Schemes in Acoustic Communication Systems using Variable-Rate Modulation*”, *Proc. Of Underwater Acoustic Measurement (UAM) 2011*, Kos, Greece, Jun. 2011
- Beatrice Tomasi, James Preisig, and Michele Zorzi, “*A Study on the Wide-Sense Stationarity of the Underwater Acoustic Channel for Coherent Communication Systems*”, *Proc. Of Underwater Acoustic Measurement (UAM) 2011*, Kos, Greece, Jun. 2011
- Beatrice Tomasi, James Preisig, Grant B. Deane, and Michele Zorzi, “*A Study on the Wide-Sense Stationarity of the Underwater Acoustic Channel for Non-coherent Communication Systems*”, *Proc. Of IEEE European Wireless Communication 2011*, Vienna, Austria, Apr. 2011
- Beatrice Tomasi, Giovanni Zappa, Kim McCoy, Paolo Casari and Michele Zorzi, “*Experimental Study of the Acoustic Channel Time-Correlation for Underwater Communications*”, *Proc. Of IEEE Oceans 2010*, Sydney, Australia, May 2010
- Kim McCoy, Beatrice Tomasi and Giovanni Zappa, “*JANUS: the genesis, propagation and use of an underwater standard*”, *Proc. of ECUA 2010*, Istanbul 5-9 July 2010, Turkey
- Beatrice Tomasi, Paolo Casari, Lorenzo Finesso, Giovanni Zappa, Kim McCoy and Michele Zorzi, “*Underwater Acoustic Channel Modeling using Markov and Hidden Markov Models*”, *Proc. of IEEE MILCOM 2010*, San Jose, California, Oct. 2010



- Beatrice Tomasi, Laura Toni, Paolo Casari, Lorenzo Rossi and Michele Zorzi, “Performance Study of Variable-Rate Modulation for Underwater Communications based on Experimental Data”, *Proc. of MTS/IEEE OCEANS 2010*, Seattle, Washington, Sept. 2010
- Beatrice Tomasi, Paolo Casari, Leonardo Badia and Michele Zorzi, “A Study of Incremental Redundancy Hybrid ARQ over Markov Channel Models Derived from Experimental Data”, *Proc. of ACM WUWNet 2010*, Woods Hole, Massachusetts, Oct. 2010

#### **Elenco pubblicazioni in preparazione su rivista internazionale**

- Beatrice Tomasi, Paolo Casari, Leonardo Badia and Michele Zorzi, “A Study of Incremental Redundancy Hybrid ARQ over Markov Channel Models Derived from Experimental Data for Independent and Correlated Channels”, for IEEE Transaction on Wireless Communications
- Beatrice Tomasi, Laura Toni, Paolo Casari, Lorenzo Rossi and Michele Zorzi, “Performance Study of Variable-Rate Modulation for Underwater Communications for Coherent and Non-Coherent Receivers”, for IEEE Journal on Oceanic Engineering
- Beatrice Tomasi, James C. Presig, and Michele Zorzi, “On the Relationship between the Predictability of Underwater Acoustic Communications Performance and the Environmental Conditions”, for Journal on Oceanic Engineering
- Beatrice Tomasi, Paolo Casari, Lorenzo Finesso, Giovanni Zappa, Kim McCoy and Michele Zorzi, “Underwater Acoustic Channel Modeling and Predictions using Markov and Hidden Markov Models”, for IEEE Transaction on Wireless Communications

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Tomasi Beatrice** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Tramarin Federico** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### ATTIVITA' DIDATTICA SEGUITA

1. Stochastic Modeling of Computer and Communication Systems (Prof. A. Willig)
2. Wireless Sensor Networks (Prof. A. Willig)
3. Applied Functional Analysis (Prof. G. Pillonetto)
4. Statistical Methods (Prof. L. Finesso)

### SCUOLE DI DOTTORATO FREQUENTATE

*Seminario di Eccellenza "ITALO GORINI" - Metodologie e dispositivi di misura nei diversi ambiti industriali, della qualità e della metrologia*

*Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche italiano (GMEE) - 1° anno*

*Perugia, 31 Agosto - 4 Settembre 2009*

*PROGRAMMA:*

- *Industry of the future: technological challenges for measurement*
- *The nuclear fusion case*
- *Measurement for the protection of Electrical Power System*
- *Produzione del ricevitore di un sistema fotovoltaico a concentrazione: test e misure*
- *Overview of key ITER diagnostics*
- *The NTM stabilization system for ITER*
- *The magnetic diagnostic system for ITER*
- *La metrologia delle radiazioni ionizzanti e il suo ruolo in campo medico e ambientale*
- *Metodologie e tecniche per lo sviluppo di sistemi software per misura e testing in ambito industriale*
- *Ticchettii nello spazio: la misura del tempo e la navigazione satellitare - PRIN 2007*
- *Strumenti e metodi per la fault detection, isolation and accomodation*
- *Ricerca e trasferimento tecnologico negli sviluppi di apparati elettronici di rilevamento e trasmissione dati utilizzati nelle competizioni automobilistiche di formula 1*
- *Prestazioni di affidabilità: approcci teorici e sperimentazione*

*Seminario di Eccellenza "ITALO GORINI" - Metodologie e dispositivi di misura nei diversi ambiti industriali, dei servizi, della qualità.*

*Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche italiano(GMEE) - 2° anno*

*Pistoia, 30 Agosto - 3 Settembre 2010*

*PROGRAMMA:*

- *Misura del contributo delle vibrazioni al rumore emesso da (turbo)macchine*
- *Direttiva EMC e sua applicazione*
- *Parametri X nelle misure di dispositivi RF non lineari*
- *Introduzione al campionamento compresso*
- *Metrologia a coordinate*
- *Sistemi di misura basati sull'elaborazione di immagini: Scanner 3D*
- *Sistemi di misura basati sull'elaborazione di immagini: Visione stereo*
- *Incertezza nei sistemi di riconoscimento dei volti per applicazioni biometriche*
- *Non-invasive blood pressure monitoring: challenges and solutions*
- *Tecniche di misura di vibrazioni mano-braccio sull'uomo, esercitate da apparecchiature meccaniche*
- *Misure radar di deformazioni e spostamenti: collaudo e monitoraggio di strutture architettoniche e sorveglianza di versanti in frana*

*Seminario di Eccellenza "ITALO GORINI" - "Metodologie e dispositivi di misura"*

*Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche Italiano (GMEE).*

*Siena, 5 - 9 Settembre 2011*

*PROGRAMMA:*

- *Le misure ad alta frequenza per le applicazioni di signal integrity*
- *Sistemi di posizionamento in ambienti chiusi: realizzazione e caratterizzazione*
- *Intervalli di confidenza e distribuzioni di probabilità per la valutazione dell'incertezza nell'acquisizione di segnali*
- *Caratterizzazione metrologica e diagnostica di componenti per le fonti rinnovabili*
- *Misure di flusso*
- *Prove pratiche di misura e controllo industriale basati su piattaforma pac*
- *Caratterizzazione di smart grids: generazione distribuita e fonti rinnovabili*
- *Reti di sensori wireless: applicazioni, sistemi e problematiche di misura*
- *Metodologie di misura per applicazioni di safety e security*
- *Caratterizzazione di siti per impianti eolici*
- *Smart sensor systems*
- *Mems technology for sensors, actuators and radio frequency telecommunication systems*
- *Plastic fiber optic sensors and applications*
- *Microsensors: the challenges in the automotive segment*

## **CONFERENZE:**

IEEE – EMC & IM Italy Chapter – L'INCERTEZZA DI MISURA NELLA  
COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA  
20 febbraio 2009  
Politecnico di Milano

EMC Europe 2010 - 9th International Symposium on EMC  
13 – 17 settembre 2010  
Wroclaw University of Technology  
Wroclaw, Poland

IEEE IECON 2010  
36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society  
8 – 11 novembre 2010  
Renaissance Hotel & Conference Center  
Phoenix, AZ, Stati Uniti

EMC Europe 2011 - 10<sup>th</sup> International Symposium on EMC  
26 – 30 settembre 2011  
University of York  
York, UK

IEEE International Workshop on Measurements & Networking 2011  
10 – 11 ottobre 2011  
Villa Orlandi  
Anacapri (NA) - Italy

#### **COLLOQUIA, SEMINARI E CONVEGNI**

- Management and Policy in Mission-Oriented Sensor Networks (18 marzo 2009)
- Deployment and Localization in Target Tracking Oriented Wireless  
Sensor Networks (8 maggio  
2009)
- Employment of wireless sensor networks for domestic applications  
(17 giugno 2009)
- RFID: stato attuale e ruoli dei laboratori universitari (novembre 2009)
- Performance Trends and Limitations of Electronic Energy Processing  
Systems (10 settembre 2010)
- Factors impacting Processor Design -- A view from the field (24 settembre 2010)
  
- Può l'informazione modificare il cervello? (5 maggio 2011)
- My life in Silicon Valley (7 giugno 2011)
- Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized  
criticality (8 novembre 2011)

#### **ATTIVITÀ DI SUPPORTO:**

Assistenza, svolta prevalentemente come Tutor Junior della Facoltà, e protratta per tutti gli anni del dottorato, ai laboratori dei corsi di:

- Misure elettroniche
- Compatibilità elettromagnetica
- Strumentazione elettronica
- Misure elettroniche per l'automazione e produzione industriale
- Laboratorio di Automazione Industriale

#### ELENCO PUBBLICAZIONI:

##### *Journal papers:*

1. F. TRAMARIN, G. GAMBA, A. WILLIG. “*Retransmission strategies for cyclic polling over wireless channels in the presence of interference.*” *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* , vol.6, no.3, pp.405-415, Aug. 2010
2. L. SENO, F. TRAMARIN, S. VITTURI. “*Performance of Industrial Communication Systems in Real Application Contexts*”. *Industrial Electronics, IEEE Magazine*, 2011, Accepted, in press.
3. L. SENO, F. TRAMARIN, S. VITTURI. “*On the Rate Adaptation Techniques of IEEE 802.11 Networks for Industrial Applications*”. *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*. Submitted.

##### *International Conference Papers:*

4. F. TRAMARIN, M. BERTOCCO, G. GAMBA, A. SONA. “Investigating wireless networks coexistence issues through an interference aware simulator.” *Proceedings of the 13th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2008)*. Hamburg (DE), Sept. 15-18 2008.
5. F. TRAMARIN, C.M. DE DOMINICIS, P. FERRARI, A. FLAMMINI, E. SISINNI, M. BERTOCCO, G. GIORGI, C. NARDUZZI. “Investigating WirelessHART coexistence issues through a specifically designed simulator.” *Proceedings of I2MTC2009, International Instrumentation and Measurement Technology Conference*. Singapore, May, 5-7, 2009
6. F. TRAMARIN, G. GAMBA, A. WILLIG. “*Retransmission strategies for cyclic polling over wireless channels in the presence of interference.*” *Proceedings of the 14th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Palma de Mallorca (ES), Sept. 22-26 2009.
7. M. BERTOCCO, A. SONA, F. TRAMARIN. “*Design of experiments for the assessment of coexistence between wireless networks*”, *I2MTC2010, Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2010 IEEE , pp.928-932, 3-6 May 2010
8. M. BERTOCCO, A. SONA, F. TRAMARIN. “*An effective and low-cost measurement system for EMC pre-compliance testing of radiated emissions in the range 2-8 GHz*”, *Proceedings of the 9th International Symposium on EMC, EMC Europe 2010*, Wroclaw, Poland, 13-17 Settembre 2010.

9. F. TRAMARIN, M. BERTOCCO, A. SONA, T. DAL CANTON. “*A calibration method for planar inductors in EMC filters: analysis and experimental validation*”. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on EMC, EMC Europe 2011. 29-30 Sept. York, UK
10. L. SENO, F. TRAMARIN, S. VITTURI. “*Influence of Real Components Behavior on the Performance of Wireless Industrial Communication Systems*”. 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE2011), pp. 1224-1229. 27-30 June 2011, Gdansk, Poland.  
doi: 10.1109/ISIE.2011.5984333
11. L. SENO, F. TRAMARIN, S. VITTURI. “*Experimental Evaluation of the Service Time for Industrial Hybrid (Wired/Wireless) Networks under Non-Ideal Environmental Conditions*”. Proceedings of the 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA2011), 5-9 Sept. 2011, Toulouse, France.
12. M. BERTOCCO, F. TRAMARIN. “*A cross-layer simulator for industrial wireless communication systems*”. Proceedings of IEEE International Workshop on Measurement&Networking (M&N2011), 10-11 Oct, Anacapri, Italy.
13. M. BERTOCCO, G. GIORGI, C. NARDUZZI, F. TRAMARIN, “*A Case for IEEE Std. 1451 in Smart Microgrid Environments*”. Accepted for publication to the 2011 IEEE Conference on Smart Measurements for Future Grids (SMFG 2011), Bologna, Italy, 14 Nov. 2011.
14. M. BERTOCCO, C. NARDUZZI, F. TRAMARIN. “*Estimation of the delay of network devices in hybrid wired/wireless real-time industrial communication systems*”. Submitted to the 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. Graz (Austria).

***National Conference Papers:***

15. F. TRAMARIN, M. BERTOCCO, G. GAMBA, G. GIORGI, A. FLAMMINI, E. SISINNI. “*Simulatore per reti di sensori wireless per l'automazione.*” Atti del Congresso del Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche Italiano, Monte Porzio Catone (RM), Sept. 7-10 2008
16. F. TRAMARIN, C.M. DE DOMINICIS, P. FERRARI, A. FLAMMINI, E. SISINNI, M. BERTOCCO, G. GIORGI, C. NARDUZZI. “*Analisi del protocollo WirelessHART e delle sue strategie di coesistenza mediante l'uso di un simulatore.*” Congresso del Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche Italiano 2009.
17. M. BERTOCCO, A. SONA, F. TRAMARIN. “*Banco di prova efficace ed economico per la valutazione in pre-compliance di emissioni irradiate nella banda 2-8 GHz*”, Atti del Congresso del Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche Italiano 2010, Gaeta (LT)
18. M. BERTOCCO, A. SONA, F. TRAMARIN. “*Coesistenza tra reti wireless per l'automazione: simulazioni di interferenza per l'analisi delle prestazioni*”, Atti del Congresso del Gruppo di Misure Elettriche ed Elettroniche Italiano 2010, Gaeta (LT)

## **RICONOSCIMENTI INTERNAZIONALI**

Il lavoro presentato ad ETFA 2010 è stato premiato con il *Best Paper Award* della conferenza. Lo stesso poi è stato selezionato tra tutti gli articoli sottomessi alle conferenze sponsorizzate dalla Industrial Electronic Society, IEEE, ed è stato premiato come *2010 Best Conference Paper Award*, premio ritirato poi alla conferenza IECON 2010, Phoenix, AZ, USA.

## **DIDATTICA ATTIVA - CORSI DI FORMAZIONE PRESENTATI**

Nell'ambito di un progetto di collaborazione di ricerca tra Università di Padova e Carel Industries S.p.A., ho tenuto presso la sede di Carel Industries S.p.A. un corso di formazione rivolto ai progettisti di tale azienda, relativo alla progettazione e soluzioni di problemi EMC su circuito stampato.

In collaborazione con TIS Innovation Park e la Provincia Autonoma di Bolzano, nella primavera del 2010 sono stato relatore per il corso "*Metodi e strumenti di misura per prove di compatibilità elettromagnetica finalizzate alla marcatura CE*", tenendo lezioni su "Marcatura CE", "Fenomeni EMI", "Interfacce elettriche e meccaniche", "Filtri e Soppressori" e "Compatibilità elettromagnetica a livello di circuito stampato", e curando alcune esperienze didattiche in laboratorio.

Nella primavera del 2011 sono stato nuovamente relatore per il corso "Metodologie di misurazione, norme e progettazione di apparecchiature elettroniche finalizzate alla marcatura CE", tenendo alcune lezioni su "Interfacce elettriche e meccaniche", "Soppressori" e "Compatibilità elettromagnetica a livello di circuito stampato", e curando alcune esperienze didattiche in laboratorio.

Sono stato inoltre relatore al corso "*Tecnico per la certificazione nell'industria elettronica*" tenuto presso l'Istituto Tecnico – ITIS F. Severi di Padova, per i moduli di "Campi elettromagnetici", "Emissioni irradiate" ed "Emissioni condotte".

## **TITOLO DEFINITIVO DELLA TESI:**

*Industrial Wireless Sensor Networks  
Simulation and measurements in an interfering environment*

## **SUPERVISORE:**

Prof. Matteo Bertocco

## **RELAZIONE TRIENNALE DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA**

Il progetto di ricerca presentato per il triennio di dottorato porta come argomento principale *l'analisi della coesistenza tra sistemi di sensori wireless in ambiente industriale*, con particolare riferimento alle problematiche di misura connesse, alla caratterizzazione delle performance e alla realizzazione di un simulatore che potesse tener conto degli effetti di interferenza reciproca tra reti wireless eterogenee e coesistenti. Parallelamente, si è dedicata particolare attenzione anche ad una seconda linea di ricerca riguardante lo studio di problematiche connesse alla compatibilità

elettromagnetica, con particolare enfasi alla compatibilità su PCB, alle relative misure, e alla Signal Integrity.

Durante il **primo anno**, sotto la supervisione del prof. M. Bertocco, si è realizzato un simulatore in grado di valutare le interferenze tra sistemi IEEE802.15.4 e IEEE802.11b. Per lo sviluppo di questo tool si è scelto l'utilizzo di Omnet++, un simulatore ad eventi open-source, che fornisce un vasto set di primitive software per la realizzazione di sistemi di simulazione di reti di comunicazione. Tra le caratteristiche notevoli del simulatore realizzato durante questo primo periodo di ricerca, si riporta come sia possibile utilizzare diversi modelli di canale e di traffico, avere una registrazione dettagliata degli eventi simulati, eseguire simulazioni molto efficienti in termini temporali e di consumo di memoria, permettere la mobilità dei nodi, ecc. In collaborazione con l'ing. Sisinni e la prof.ssa Flammini dell'Università di Brescia, si è inoltre creata una estensione per lo studio di nodi conformi anche allo standard WirelessHART. Il simulatore è stato utilizzato per svolgere comparazione con dati sperimentali già disponibili, utili poi per la stesura di alcuni articoli scientifici [4,5,7,15,16,18] di carattere sia nazionale che internazionale.

Dal febbraio 2009 il Dr. Andreas Willig, Technical University di Berlino, è stato "visiting professor" presso il Dipartimento. Sono stati seguiti due corsi di dottorato, tenuti da Willig stesso, inerenti le reti di sensori e lo studio e modellizzazione delle prestazioni delle reti. In collaborazione con il Dr. Willig e l'Ing. Gamba, si è realizzato uno studio, e la relativa implementazione, di nuove strategie di *ritrasmissione* per reti di sensori wireless industriali, basate su *polling*. Tipicamente infatti a livello di "campo", cioè lo scambio dati per il controllo di automazioni industriali, si procede con un'interrogazione ciclica dei nodi per la lettura dei dati. L'intrinseca fragilità della comunicazione wireless, e soprattutto l'effetto di eventuali interferenti esterni possono portare ad un numero di tentativi di ritrasmissione del dato tale da superare la soglia massima per la quale il ciclo di controllo può essere sostenuto. Allo scopo di limitare l'effetto di tali interferenze, e dei relativi errori di trasmissione, considerando i tempi tipici di coerenza del canale, si sono proposti alcuni algoritmi originali per lo scheduling delle ritrasmissioni successive dello stesso pacchetto. L'analisi delle prestazioni di tali algoritmi è stata realizzata sia in forma simulativa che tramite campagne di misure sperimentali. Tale lavoro [6] è stato presentato alla conferenza ETFA 2009, svoltasi a Palma de Maiorca, dove è stato premiato con il "Best Paper Award". Tale lavoro è stato successivamente premiato anche con il 2010 Best Conference Paper Award della Industrial Electronic Society, IEEE, conferito durante la conferenza IECON 2010 tenutasi a Phoenix, AZ. Un'ampia estensione di questo lavoro [1] è stata sottomessa su invito degli organizzatori della conferenza stessa, alla rivista IEEE Transaction on Industrial Informatics.

Nell'ambito della *seconda linea di ricerca*, si è avuta la possibilità di stringere rapporti con alcune realtà industriali regionali, quali Mitan Srl (ora Calearo SpA) e Carel Industries SpA. Con quest'ultima, in particolare, si è svolta fino al secondo anno di dottorato, un'attività di consulenza, cui responsabile scientifico è stato il prof. Sona, alla progettazione di una scheda di controllo a microprocessore, che ha presenta notevoli problematiche sia dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica che della signal integrity. Allo scopo si è approfondito l'uso di simulatori di campi elettromagnetici 3D, e si è portato avanti uno studio personale delle problematiche connesse alla progettazione elettronica ad alta frequenza su scheda. Inoltre, le conoscenze acquisite durante questo periodo di studio sono state alla base della presentazione di alcune lezioni sulla compatibilità elettromagnetica all'interno di un corso di approfondimento rivolto ai progettisti di Carel, cui responsabile era sempre il prof. Sona.

Durante il **secondo anno**, la naturale prosecuzione dell'attività di ricerca principale è stata nella direzione dell'ottimizzazione del simulatore, anche considerando l'evoluzione dello



scenario di ricerca internazionale, che si è dimostrato maggiormente attento alle problematiche di simulazione di reti wireless interferenti. Si è lavorato, nella seconda parte dell'anno, anche alla realizzazione di uno strato di convergenza per permettere a nodi wireless di gestire contemporaneamente più flussi di generazione di dati, mimando il meccanismo dei *socket*. Ciò allo scopo di implementare e studiare meccanismi di sincronizzazione tra nodi wireless, che tipicamente agiscono a livelli alti nella pila ISO/OSI, affiancandosi al traffico generato dalle normali funzionalità del nodo.

All'interno del laboratorio EMC del Dipartimento, inerentemente alla seconda linea di ricerca, sono stati seguiti alcuni lavori tesi connessi allo studio di problematiche proprie della Signal Integrity. Alcune di queste tesi hanno avuto un taglio maggiormente legato alle simulazioni di campi elettromagnetici per lo studio di alcuni parametri di progetto di circuiti stampati, come ad esempio lo studio dell'impedenza caratteristica di piste in situazioni non standard, o l'analisi dell'incidenza di angoli nello sbroglio delle piste nei confronti dell'emissione irradiata. Questa attività ha portato, inoltre, allo sviluppo di un banco di test interno al laboratorio, la cui ripetibilità di misura è stata caratterizzata accuratamente. La successiva realizzazione di antenne di misura, e la loro caratterizzazione, ha poi permesso di approfondire la caratterizzazione di tale strumento, proponendolo come valido sistema di misura nei confronti dell'emissione irradiata da dispositivi ad alta frequenza, nella banda da 2 a 8 GHz. Questo può risultare utile ad esempio per prove di pre-compliance alle normative europee per dispositivi elettronici, o anche a misure su dispositivi wireless come possono essere le misure di accuratezza di RSSI dei nodi sensori. Questa attività di progettazione e realizzazione sperimentale, e le misure per la caratterizzazione di questo strumento sono poi state presentate in [8] ad un simposio internazionale nell'ambito della compatibilità elettromagnetica.

Durante il **terzo anno** di dottorato ci si è concentrati su un particolare aspetto dell'argomento principale del progetto di ricerca, ovvero ci si è soffermati sull'analisi delle problematiche connesse all'utilizzo di reti wireless a livello industriale, nel momento in cui a queste venga richiesto di soddisfare requisiti di prestazioni molto stringenti, tipici delle reti di controllo degli azionamenti industriali.

In particolare, si è presa in considerazione un'eventuale estensione wireless di un preesistente segmento cablato di tipo *field-bus*, o delle più recenti reti *Real-Time Ethernet* (talvolta dette anche *Industrial Ethernet*). Tali configurazioni, dovendo gestire le comunicazioni di più basso livello e in cui lo scambio di dati risulta maggiormente critico, richiedono in genere di soddisfare a caratteristiche di funzionamento di tipo *real-time*, e di garantire determinismo nella gestione di particolari tipologie di servizi, richiamati da situazioni critiche, come ad esempio gli allarmi.

Durante la prima parte dell'anno si è effettuata un'adeguata analisi bibliografica per lo studio dello stato dell'arte e per meglio comprendere la corretta collocazione dell'attività di ricerca. Conseguentemente, in collaborazione anche con il prof. Vitturi e la dott.ssa Seno, dell'unità operativa dell'IEIIT-CNR presente presso il nostro dipartimento, si è iniziata un'attività di indagine riguardo alla misura delle prestazioni di una tale estensione wireless, riproducendo sperimentalmente un sito di prova nel laboratorio del gruppo di ricerca. La caratterizzazione di alcuni indici di prestazione individuati in letteratura, e riguardanti in modo particolare il *service time* nell'interrogazione di uno slave wireless, ed il relativo *jitter*, sono stati effettuati per mezzo di strumenti software opportunamente sviluppati, e i risultati sperimentali di tale attività sono stati poi presentati in [10].

Nel lavoro si è evidenziata la presenza di ritardi nelle comunicazioni wireless con i nodi di rete, non giustificabili con caratteristiche proprie degli standard di comunicazione considerati. Queste osservazioni hanno indirizzato l'attività di ricerca successiva alla caratterizzazione di alcuni dispositivi di rete utilizzati per la realizzazione di una topologia *ibrida wired/wireless*, con

particolare riferimento agli Access Point (AP). In particolare si è deciso di realizzare un setup di prova per la misurazione accurata dei ritardi introdotti dall'AP stesso. A tal fine, si è lavorato a livello del circuito elettronico che implementa le funzionalità fisiche del dispositivo, andando a misurare, con un oscilloscopio digitale accurato, la differenza di tempo tra il segnale indicante l'arrivo di un frame sul segmento Ethernet dell'AP e il corrispondente segnale relativo alla trasmissione dello stesso frame in aria. Questa attività ha portato alla stesura di un articolo presentato alla conferenza ETFA 2011 [11]. Inoltre, una accurata revisione bibliografica, e i lavori sperimentali compiuti hanno poi portato ad un articolo per giornale [2], in attesa di pubblicazione.

Inoltre, la caratterizzazione del metodo di misura adottato, e del metodo di stima dei ritardi introdotti dagli altri componenti presenti nella catena di comunicazione sono stati analizzati dal punto di vista teorico. Tali ritardi infatti hanno caratteristiche fortemente aleatorie e difficilmente modellabili con distribuzioni di probabilità note. Si è messa a punto un algoritmo di *deconvoluzione* che permetta la stima accurata dei ritardi introdotti da un generico AP, eliminando la necessità di predisporre setup di misura complessi, con strumentazione particolare e senza dover effettuare misure invasive sulla scheda elettronica dell'AP, trattando il dispositivo come un *black-box*. Questa attività è stata descritta in un lavoro sottomesso alla prossima conferenza I2MTC 2012 [14].

Contestualmente, il simulatore per reti wireless realizzato durante i precedenti anni di dottorato è stato ampliato in modo tale da permetterne l'utilizzo anche per lo studio di reti di comunicazione industriale descritto in precedenza. Si è infatti dovuto provvedere ad una revisione sostanziale dell'implementazione degli standard di comunicazione, e l'attività ha evidenziato alcuni aspetti peculiari, molto spesso sottovalutati anche nei lavori disponibili dalla comunità scientifica, di cui si deve necessariamente considerare l'effetto nell'implementare software di simulazione per reti industriali. Questo ha permesso incidentalmente ulteriori verifiche sulla corrispondenza dei risultati simulativi ottenuti tramite software con i risultati degli esperimenti realizzati nelle precedenti fasi della ricerca. Gli esiti di questa estensione del simulatore sono stati presentati in [12].

Questo tool software di simulazione è stato congiuntamente impiegato in un lavoro di ricerca ed estensione dei risultati ottenuti in [2,10,11]. Si è infatti voluto estendere l'ambito di ricerca non solo all'effetto dei ritardi introdotti da dispositivi di rete, ma anche a possibili metodi di mitigazione degli effetti di questi ritardi, e di quelli, spesso ancor più cospicui, introdotti da errori di comunicazione intrinseci dei sistemi wireless. In particolare si è valutato l'effetto del controllo del rate di trasmissione sulla capacità della rete di gestire situazioni di degradazione del rapporto segnale/disturbo, proponendo anche alcuni possibili algoritmi di adattamento del rate, particolarmente adatti a sistemi di comunicazione di tipo *soft real-time*. Misurazioni sperimentali su reti di prova specificamente ricreate in laboratorio hanno permesso di verificare le prestazioni degli algoritmi utilizzati da alcuni dispositivi commerciali disponibili, e gli algoritmi proposti sono stati invece validati tramite il tool di simulazione presentato e validato opportunamente in [6]. Questa attività è stata poi descritta accuratamente per la pubblicazione su rivista [3].

Durante l'anno, in modo coerente con gli interessi di ricerca del dipartimento e del gruppo di ricerca di misure in particolare, ho iniziato un'attività di studio nell'ambito delle microreti intelligenti di distribuzione dell'energia elettrica (*smart micro-grids*). In questo caso si è pensato di adattare l'utilizzo dello standard IEEE 1451 per la gestione uniforme e scalabile della struttura realizzativa degli *energy gateway*, punti di accesso/controllo dei vari dispositivi presenti nella microrete che in particolare dovranno fornire funzioni di misura accurata delle grandezze elettriche, di comunicazione e di controllo distribuito della microrete [13].

All'inizio dell'anno si è realizzato anche un lavoro nell'ambito della compatibilità

elettromagnetica, riguardante la realizzazione di *induttori planari* su circuito stampato. Questo lavoro, nato in seno ad una collaborazione con una ditta che realizza filtri per telecomunicazioni, è consistito in un'ampia fase prototipale di circuiti stampati, dalla quale si sono ricavate regole pratiche realizzative di componenti planari, che sono spesso impiegati solo nel campo delle microonde e dei circuiti integrati. Questo contributo [9] è stato presentato ad un simposio internazionale nel campo della compatibilità elettromagnetica tenutosi a York alla fine dell'estate.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Tramarin Federico** 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Tramontan Lara** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

## Parte 1 Didattica

### Corsi seguiti:

- A vademecum of pattern recognition techniques with applications to image and video analysis, Prof. M.Piccardi. (Ferrara)
- Applied Linear Algebra, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer
- Dose, Effect, Threshold, Prof. A. Trevisan
- Positron Emission Tomography (PET), Prof. M.C. Gilardi
- Statistical Methods, Prof. L. Finesso
- Introduzione alla modellazione 3D, Prof. Giulio Casciola
- Statistical methods, Prof. Chiogna, presso il Dipartimento di Scienze Statistiche dell' Università di Padova.

### Seminari seguiti:

- Towards categorization in sensory systems, Prof. Pietro Perona
- Disease Classification Problems in Ophthalmology: Human Plus Computer, Dr. Larry Hubbard
- Incremental Clustering with Nonparametric Bayesian Models, Ryan Gomes
- Robustness in Biological Networks: From Genes to Cells to Systems, Prof. Francis J. Doyle III
- Mental arithmetic - mechanisms and implications, Dr. André Knops (Psicologia)
- Crescita e collasso di sistemi complessi sociali ed economici, Prof. Ugo Bardi
- Alcuni strumenti per l'analisi statistica di dati funzionali e loro applicazione allo studio di geometrie tridimensionali di vasi cerebrali, Prof. Laura Sangalli (presso il dipartimento di Scienze Statistiche)
- 3D Robot Vision in Agriculture, Dr. Michael Nielsen
- Object Detection and Classification Using Machine Learning and Statistical approaches, Dr. Haider Ali

- Brain models: from functional mapping through the connectome to self-organized criticality, Dr. Federico Turkheimer

Partecipazione a Scuole di dottorato:

- International Computer Vision Summer School 2010, in Scicli (RG), Italy (12-17 luglio 2010).
- XXX Scuola annuale di Bioingegneria in Neuroinformatica, a Bressanone (BZ), Italy (19-23 settembre 2011).

Partecipazione a Conferenze Internazionali:

- "World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering", 2009, Munich, Germany

Didattica attiva svolta:

Nell'ambito dell'assistenza al laboratorio:

- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Strumentazione biomedica" del corso di laurea triennale in Bioingegneria (Facoltà di Ingegneria) tenuto dal Prof. Alfredo Ruggeri. A.A.2008-2009.
- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Strumentazione Biomedica" del corso di laurea magistrale in Bioingegneria (Facoltà di Ingegneria) tenuto dal Prof. Alfredo Ruggeri. A.A. 2011-2012

Nell'ambito dell'attività di tutor junior:

- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Informatica" del corso di laurea triennale in Scienze Geologiche (Facoltà di Scienze matematiche, fisiche, naturali) tenuto dal Prof. Enrico Grisan. A.A.2009-2010
- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Strumentazione per Bioimmagini" del corso di laurea magistrale in Bioingegneria (Facoltà di Ingegneria) tenuto dal Prof. Alfredo Ruggeri. A.A.2009-2010
- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Strumentazione Biomedica" del corso di laurea triennale in Ingegneria Biomedica (Facoltà di Ingegneria) tenuto dal Prof. Alfredo Ruggeri. A.A. 2009-2010
- Attività di sostegno didattico di laboratorio per l'insegnamento "Elaborazione di Dati Segnali e Immagini Biomediche" del corso di laurea triennale in Ingegneria Biomedica (Facoltà di Ingegneria) tenuto dal Prof. Enrico Grisan. A.A. 2009-2010

Attività in qualità di correlatore per tesi di laurea triennale:

- "Algoritmi per identificazione di falsi vasi nell'analisi vascolare di immagini retiniche", Marco Mardegan, corso di laurea triennale in ingegneria biomedica, A.A. 2008/2009.

- “Analisi di immagini dei vasi della retina: studio della larghezza dei vasi per la valutazione del rischio cerebrovascolare”, Francesco Piccolo, corso di laurea triennale in ingegneria biomedica, A.A. 2008/2009.
- “Analisi automatica delle biforcazioni in immagini della retina per il calcolo dell'AVR”, Jessica De Luca, corso di laurea triennale in ingegneria biomedica, A.A. 2008/2009.
- “Algoritmo di classificazione di arterie/vene in immagini retiniche per la stima del parametro diagnostico AVR”, Daniela Prisciandaro, corso di laurea triennale in ingegneria biomedica, A.A. 2009/2010.
- “Confronto tra diversi algoritmi per la stima dei calibri vascolari in immagini retiniche”, Federica Turcato, corso di laurea triennale in Ingegneria Biomedica, A.A. 2009/2010.

Attività in qualità di correlatore per tesi di laurea magistrale:

- “Tracciamento automatico della rete vascolare in immagini retiniche: sviluppo di algoritmi per il postprocessing.”, Nicola Rodighiero, corso di laurea magistrale in Bioingegneria, A.A. 2010/2011.
- “Riconoscimento automatico di biforcazioni e incroci nella struttura vascolare di immagini retiniche”, Alberto Grigolin, corso di laurea magistrale in Bioingegneria, A.A. 2011/2012.

Periodo di Permanenza all'estero:

- Un periodo di 6 mesi (dal 1° febbraio 2011 al 31 luglio 2011) sono stati trascorsi presso il Moorfields Eye Hospital di Londra in qualità di Honorary Fellow. Il Moorfields è uno dei maggiori ospedali oftalmici a livello mondiale ed offre elevate competenze nel settore clinico, di ricerca, insegnamento e formazione.

## **Parte 2 Ricerca**

Attività di ricerca:

L'analisi del fundus retinico è diventata oramai un comune strumento diagnostico per le malattie cardiovascolari, poiché permette di ricavare informazioni riguardanti la circolazione sanguigna in modo facile e completamente non invasivo. La mia attività di dottorato si è concentrata principalmente sullo sviluppo di algoritmi e sistemi per l'analisi di immagini retiniche in grado di inferire conoscenze riguardo la circolazione sanguigna in modo automatico, affidabile e riproducibile. In particolare tali strumenti permettono un'analisi delle caratteristiche morfologiche e strutturali della rete vascolare e il calcolo di parametri clinici ad essa relativi.

Se in letteratura sono stati presentati molti algoritmi riguardanti la segmentazione della rete vascolare, molti pochi ne sono stati proposti per il post-processing dopo questo

passo. Tuttavia esso risulta necessario innanzitutto perché la segmentazione potrebbe essere affetta da alcuni errori, ad esempio dall'identificazione come vasi di altre strutture scure presenti nell'immagine: micro aneurismi ed emorragie in condizioni patologiche dell'occhio o semplicemente rumore, ombre o anche la fovea nell'occhio sano. Perciò il primo compito del post-processing consiste nel miglioramento delle performance dell'algoritmo di tracciamento vascolare in termini di specificità: a tale scopo è stato sviluppato un modulo per il riconoscimento dei falsi vasi basato su reti neurali.

Dopo questo primo passo preliminare, l'algoritmo di post-processing analizza la rete vascolare e identifica punti di interesse dell'immagine, alcuni di essi appartenenti alla stessa rete vascolare, come biforcazioni e incroci, altri deducibili da essa, come il disco ottico e la fovea. L'immagine retinica mostra i vasi sanguigni che emergono dal disco ottico come arteriole, per poi aprirsi e allontanarsi quasi radialmente (in particolare seguendo un profilo a doppia arcata), man mano riducendo il loro calibro e diventando infine capillari. Molti di essi convergono nella fovea, ossia la zona retinica con la maggiore acuità visiva. Da essa dipartono i capillari con flusso venoso, seguendo ancora una volta un corso parabolico simile a quello arteriolare ma in senso inverso, che si riuniscono poi in prossimità del disco ottico. Tale comportamento comune e ben determinato viene utilizzato per la creazione di un modello della rete vascolare che permette di identificare direttamente il disco ottico e indirettamente la fovea. Disco ottico e fovea costituiscono due importanti punti di interesse per molteplici ragioni: molte patologie colpiscono il disco ottico (come ad es. il glaucoma) o la fovea (es. la telangiectasia maculare) od entrambi, inoltre la distanza fissa tra il centro del disco ottico e la fovea può essere utilizzata per la calibrazione dell'immagine.

L'algoritmo di identificazione di tali punti d'interesse ha mostrato risultati affidabili su diversi dataset, in pazienti sia sani che in condizioni patologiche, e tali risultati sono stati ottenuti con tempi computazionali dell'ordine del secondo. La posizione di questi punti di interesse viene a sua volta usata dall'algoritmo di post-processing per ricavare, a partire dalla maschera binaria {vaso-non vaso}, le singole strutture vascolari, ossia per il riconoscimento di tutto il loro percorso a partire dal disco ottico, come arteriole, fino al loro assottigliamento in capillari, e viceversa per i vasi con flusso venoso. In particolare l'algoritmo riesce a risolvere molte situazioni critiche quali i punti di incrocio tra vasi o la biforcazione degli stessi. Incroci e biforcazioni costituiscono punti di interesse perché alcuni parametri clinici sono misurabili in corrispondenza di tali situazioni: ad esempio l'angolo di biforcazione o l'esponente di giunzione che lega il diametro del tronco a quello dei rami. In letteratura i lavori riguardanti il riconoscimento automatico di tali punti di interesse considerano principalmente informazioni locali, mentre l'algoritmo da me sviluppato effettua un'analisi dell'intera immagine e considera un modello dello sviluppo della rete vascolare in grado di risolvere situazioni particolarmente problematiche.

L'algoritmo di post-processing permette inoltre la classificazione automatica dei vasi in arterie/vene, informazione importante per una diagnosi precoce di alcuni tipi di

retinopatie. Infatti, nella fase iniziale di molte malattie vascolari appaiono cambiamenti ai vasi sanguigni che possono colpire in maniera diversa i due tipi di vaso. Le arterie appaiono solitamente più luminose delle vene e talvolta con un riflesso centrale dovuto alla maggiore riflettività delle pareti arteriolarie in presenza di ossigeno. Tuttavia queste differenze risultano visibili soltanto nei vasi principali e la loro entità varia fortemente a seconda del paziente e della loro posizione sulla retina, rendendo la loro classificazione un arduo compito. L'algoritmo sviluppato è basato su un approccio probabilistico e modulare: vengono utilizzati diversi classificatori non supervisionati, ciascuno dei quali restituisce per ogni vaso la probabilità che esso sia arteria. Le diverse probabilità vengono quindi integrate sfruttando anche informazioni di meta-conoscenza derivanti da caratteristiche topologiche: due vasi che incrociano devono appartenere a diverse classi, in corrispondenza delle biforcazioni i due rami devono appartenere alla stessa classe del tronco, nella regione circolare attorno al disco ottico un'arteria spesso si alterna con una vena. In questa regione si sono ottenuti valori di specificità e sensibilità superiori a 0.9 su diversi tipi di soggetti e su dataset dalle caratteristiche molto diverse, con tempi dell'ordine di qualche secondo.

In aggiunta allo sviluppo dell'algoritmo di post-processing, la mia attività si è focalizzata sull'applicazione dell'informazione vascolare per la stima di alcuni indici clinici, in particolare il rapporto artero-venoso (AVR) e la tortuosità dei vasi. E' stato ampiamente dimostrato che le arterie si restringono (e quindi si misura un valore ridotto del parametro AVR) in presenza di alcune patologie oculari come nella retinopatia ipertensiva e diabetica. E' stato inoltre osservato che uno dei loro effetti è la maggiore tortuosità vascolare: normalmente i vasi sanguigni retinici appaiono diritti o leggermente curvi, ma essi si dilatano e diventano tortuosi in presenza di alta pressione sanguigna, angiogenesi o congestione vasale. Tuttavia questo comportamento non è stato ancora chiaramente compreso e dimostrato in maniera affidabile, in particolare nel caso della retinopatia diabetica, principalmente perché non esistono ancora una misura quantitativa consistente di tortuosità e sistemi che la misurino in modo automatico. Finora la tortuosità è stata valutata dagli esperti clinici usando una scala qualitativa (ad esempio leggera, modesta, severa, estrema), ma una misura affidabile, automatica e quantitativa permetterebbe di valutare in modo più facile e significativo la tortuosità vascolare retinica e di monitorarne la progressione. Inoltre, la mancanza di strumenti in grado di fornire una misura automatica di tortuosità ha finora impedito l'analisi di questo indice nella normale pratica clinica. Infine in letteratura sono apparsi alcuni lavori che propongono misure di tortuosità, ma solo del singolo vaso, mentre quella dell'intera immagine finora è stata ignorata.

La collaborazione con il Reading Centre, Dipartimento R&D del Moorfields Eye Hospital di Londra, presso cui ho trascorso sei mesi, ha permesso di approfondire tale argomento, in particolare con uno studio riguardante la percezione di tortuosità dell'intera immagine da parte degli esperti clinici, i cambiamenti di tortuosità in presenza di retinopatia diabetica e l'implementazione di una misura automatica di tale parametro. Da tale studio è emerso che i clinici sono in grado di proporre una valutazione quantitativa



con valori di correlazione inter- e intra-grader attorno allo 0.7 e in una scala con 6 livelli crescenti di tortuosità, nel 95 % dei casi c'è una differenza inter- e intra-grader di al più una classe. La misura automatica di tortuosità che ho implementato ha riportato valori di correlazione con le valutazioni dei clinici ancora intorno allo 0.7, quindi con un'affidabilità simile a quella degli esperti umani, ma con il vantaggio di essere automatica e riproducibile. La misura di tortuosità implementata considera sia la tortuosità dei singoli vasi, sia una misura di tortuosità locale. La prima integra l'informazione sul numero di cambiamenti della convessità del vaso (ossia del segno di curvatura) con l'ampiezza di ogni oscillazione e il diametro del vaso (più un vaso è spesso, maggiore sarà la sua tortuosità a parità di numero e ampiezza delle oscillazioni). La seconda considera soltanto i cambiamenti locali di curvatura e il diametro nei singoli punti del vaso, indipendentemente se tale punto appartiene ad uno o all'altro vaso.

Infine, sono stati sviluppati due sistemi web-based: uno per la stima del parametro AVR (AVRnet) e uno per la stima della tortuosità (TorTnet). Entrambi sono composti del modulo per il tracciamento automatico della rete vascolare, un'interfaccia interattiva che permette di correggere gli errori di segmentazione in modo facile e veloce e di fissare i parametri di analisi richiesti, e di un modulo per il calcolo degli indici clinici. I sistemi sono stati organizzati come una struttura client-server permettendo così a clinici e ricercatori da tutto il mondo di poter lavorare con essi da remoto. Il sistema AVRnet ha mostrato un'alta accuratezza, in quanto ha permesso di ottenere stime del parametro AVR che correlano significativamente (correlazioni superiori allo 0.9) con quelle fornite dall'attuale sistema di riferimento che richiede però una notevole assistenza da parte dell'utente, con tempi dell'ordine della ventina di minuti per immagine, mentre AVRnet richiede in media soltanto 2 minuti. Infine alti valori di correlazione intra e inter-utente sono stati misurati, dimostrando che il sistema oltre ad essere affidabile e accurato mostra anche alti valori di precisione.

Titolo definitivo della tesi:

*“Development and web-based implementation of algorithms for the automatic analysis of vessels in retinal images”*

Nome del supervisore:

Alfredo Ruggeri

**Parte 3 Pubblicazioni**

Articoli su riviste internazionali

- L. Tramontan, E. Poletti, D.Fiorin and A. Ruggeri. *A web-based system for the quantitative and reproducible assessment of clinical indexes from the retinal*

*vasculature*. Transaction on Biomedical Engineering (TBME) Letters on Emerging Technologies in Point-of-Care Health Care, 58(3):818-821, 2011.

Articoli in atti di congressi internazionali

- A. Ruggeri, E. Poletti, D. Fiorin and L. Tramontan. *From Laboratory to Clinic: the Development of Web-based Tools for the Estimation of Retinal Diagnostic Parameters*. Proc. 33th Annual International Conference of IEEE-EMBS, Boston, 2011.
- L. Tramontan, A. Ruggeri, “Computer estimation of the AVR parameter in diabetic retinopathy” IFMBE Proceedings WC 2009 “World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering”, Vol. 25, 2009, Munich, Germany

Abstracts in atti di congressi internazionali

- [A Ruggeri](#), [E Poletti](#), [D Fiorin](#), [L Tramontan](#) and T. Peto. *A Web-based System for Vessel Tortuosity Estimation in Retinal Images*. Proc. ARVO 2011 Annual Meeting, Fort Lauderdale (FL), USA, May 1-5, 2011.
- A. Ruggeri, L. Tramontan, E. Poletti and D. Fiorin. *A Computerized System for CRAE, CRVE and AVR Estimation in Retinal Images*. Proc. ARVO 2010 Annual Meeting, Fort Lauderdale (FL), USA, May 2-6 2010, 5343-A271, 2010.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Tramontan Lara** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 la dott.ssa **Veronese Elisa** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Bioingegneria.

Titolo borsa a tema vincolato: "Analisi di immagini e segnali biomedici"

### Parte 1 Didattica

#### - Corsi seguiti

*Positron Emission Tomography (PET)*, Prof. M.C. Gilardi, gennaio/febbraio 2009  
*Dose, effect, threshold*, Prof. A. Trevisan, gennaio / febbraio 2009  
*Applied linear algebra*, Prof. H. Wimmer and Prof. T. Damm, marzo 2009  
*Design Patterns for Software Development*, Prof. G. Manduchi, novembre 2009  
*Statistical Methods*, Prof. L. Finesso, novembre 2009  
*Immagini biomediche*, Prof. A. Ruggieri, febbraio 2010  
*Segnali biomedici*, Prof. E. Grisan, marzo/novembre 2010  
*MRI imaging*, Prof. A. Bertoldo, luglio/ottobre/dicembre 2010  
*Corsi di Formazione per Dottorandi di Ricerca dell'Università di Padova*, Dott. R.D'Orazio, settembre/ottobre 2010  
*Elaborazione di segnali*, Prof. G.M. Toffolo, novembre 2010  
*Identifiability of Linear and Nonlinear Systems*, Prof. M.P. Saccomani, novembre 2010  
*Metodi avanzati per l'analisi di immagini*, Prof. E. Grisan, marzo/aprile 2011  
*Neuroimaging*, Prof. A. Bertoldo, giugno/luglio 2011  
*Integrazione multimodale*, Prof. A. Bertoldo, luglio/agosto 2011  
*Tecniche avanzate per l'elaborazione e l'analisi di immagini biomediche*, Prof. E. Grisan, ottobre/novembre 2011  
*Innovazione e sviluppo prodotto*, Ing. M. Scabbia, settembre/novembre 2011

#### - Partecipazione a scuole internazionali per dottorandi

XXI International School for Computer Science Researchers. "Molecular and Medical Image Analysis and BioInformatics". Lipari, 11 – 18 luglio 2009

International Computer Vision Summer School. "Registration and Video Analysis".  
Sicilia, 12 – 17 luglio 2010

- Seminari seguiti al DEI o in altre sedi

Colloquia e seminari riguardanti le attività di studio e ricerca del Dipartimento (DEI)  
Distinguished Lecturer Series (DEI)  
*A vademecum of pattern recognition techniques with applications to image and video analysis*, Prof. M. Piccardi, Università di Ferrara, 19 – 20 gennaio 2009.  
*Modellare dati in MATLAB e progettare sistemi in Simulink*, Ing. Paolo Fabbri, Hotel Plaza, Padova, ottobre 2011

- Partecipazione a Conferenze Nazionali

2nd National Congress of Bioengineering, Torino, 7 – 10 luglio 2010  
I Congresso Nazionale di Neuroradiologia Funzionale, Milano, 16-18 febbraio 2011

- Partecipazione a Conferenze Internazionali

XI International Congress of the IUPESM. "Medical Physics and Biomedical Engineering. World Congress 2009". Monaco, 7 – 12 settembre 2009  
16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Barcellona, 6 – 10 giugno 2010  
ISMRM - 19th Annual Meeting and Exhibition, Montreal, Canada, 7-13 maggio 2011  
IASTED - 2nd International Conference on Computational Bioscience, 11-13 luglio 2011  
5th joint triennial congress ECTRIMS / ACTRIMS 2011, 19-21 ottobre 2011

- Didattica attiva (lezioni, esercitazioni, laboratori)

Attività didattica di supporto svolta

Supporto alla didattica al corso di Sperimentazioni di Fisica 1 (mod A) per il Corso di Laurea di Astronomia  
Supporto alla didattica al corso di Elaborazione di Immagini Biomediche per il Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica

Attività in qualità di correlatore per tesi di laurea

*Identificazione semiautomatica della membrana sinoviale per la diagnosi precoce dell'artrite reumatoide*, Andrea Campion, corso di laurea triennale in Ingegneria

- Biomedica, anno accademico 2009/2010.
- Stima del Bias Field e Segmentazione di Volumi MRI*, Giovanni Smania, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2009/2010.
- Ferro nel sistema nervoso centrale e malattie neurodegenerative: metodi di imaging e quantificazione*, Stefano Zordan, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2009/2010
- Applicazione dei contorni attivi per la segmentazione di materia bianca e grigia su dati MRI*, Cristina Penzo, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2009/2010
- Identificazione automatica dell'aorta in ecografie fetali*, Federica Bassano, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2009/2010
- Ecografia endoscopica dell'esofago: identificazione automatica del lume e delle pareti*, Andrea Stevan, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2010/2011
- Sistema di analisi semi automatico per lesioni del colon retto su immagini di microscopia confocale laser*, Alberto De Luca, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2010/2011
- Ecografia endoscopica dell'esofago: identificazione e ricostruzione 3D delle pareti*, Giuseppe D'Onofrio, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2010/2011
- Classificazione automatica di immagini endoscopiche di esofago di Barrett*, Roberto Ceron, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2010/2011
- Classificazione automatica di immagini endoscopiche di esofago di Barrett*, Giulio Rigon, corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica, Anno Accademico 2010/2011
- Quantificazione dei tempi T2 e T2\* da immagini MRI cerebrali*, Sara Fanelli, corso di Laurea Magistrale in Bioingegneria, Anno Accademico 2010/2011

## Parte 2 Ricerca

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

Il progetto principale sviluppato durante il triennio è consistito nella formulazione e implementazione di un algoritmo per la segmentazione automatica delle lesioni corticali in soggetti affetti da sclerosi multipla. La diagnosi della malattia e il follow up dei pazienti vengono eseguiti con l'ausilio di immagini di risonanza magnetica. Il dataset a disposizione consisteva quindi in una serie di differenti sequenze acquisite con uno scanner MRI. In primo luogo è stato necessario selezionare una coorte significativa di pazienti che presentassero danni corticali associati alla malattia. Successivamente un'analisi delle caratteristiche peculiari di ciascuna sequenza MRI ha permesso di

individuare le due tecniche di acquisizione (i.e. Double Inversion Recovery (DIR) e FLuid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR)) che consentono di ottenere risultati più affidabili nella segmentazione della materia grigia. Infatti altre sequenze standart (i.e. T1-w) non offrono un adeguato contrasto tra i diversi tessuti. Sulle due sequenze selezionate si è messo a punto un primo algoritmo di segmentazione della materia grigia, basato su level set, curve parametriche che evolvono nel dominio dell'immagine al fine di catturare particolari regioni di interesse. I risultati ottenuti si sono dimostrati affidabili: l'algoritmo è in grado di riconoscere le regioni di materia grigia e di classificarle come tale, anche in presenza di zone in cui la malattia abbia alterato le caratteristiche del tessuto.

Terminata la parte di segmentazione, si è provveduto a ricercare, all'interno della materia grigia, la presenza di lesioni legate alla sclerosi multipla. Benché le lesioni corticali si presentino, in una sequenza DIR, come zone iperintense, una semplice sogliaatura si rivela inefficace soprattutto per il basso SNR che caratterizza tali immagini. In particolare si è provveduto a limitare gli effetti di diverse fonti di rumore: da un lato l'inomogeneità di campo B<sub>0</sub>, che provoca fluttuazioni di intensità di livello di grigio che raggiungono il 30% all'interno dello stesso tessuto, dall'altro lato la presenza di vasi sanguigni cerebrali che alterano localmente il segnale acquisito, generando regioni iperintense che possono portare a una sovrastima del numero di lesioni. Al fine di limitare il numero di falsi positivi, risulta quindi fondamentale il riconoscimento di quelle zone (i.e. insula, solco centrale, ecc) che risultano particolarmente prone agli artefatti, e sulle quali il pesaggio l'individuazione delle lesioni sarà quindi più conservativo.

I risultati sono stati quindi validati mettendo a confronto le segmentazioni ottenute con quelle disegnate manualmente da un gruppo di neurologi che collaborano al progetto. Nonostante una percentuale ancora significativa di falsi positivi, l'algoritmo sviluppato si è rivelato un sicuro ausilio per l'individuazione delle zone in cui l'utente finale dovrà concentrare l'attenzione nella ricerca di lesioni corticali.

L'algoritmo è stato infine ottimizzato per poter lavorare su sequenze DIR e FLAIR a prescindere dalla risoluzione spaziale con cui vengono acquisite.

Infine, lo scopo dell'ultima parte del progetto è di quantificare l'eventuale accumulo di ferro in corrispondenza dei tessuti danneggiati dalla malattia, come ipotizzato da lavori pubblicati di recente su studi sia in vivo che post mortem. Per procedere, si è provveduto a mettere a punto una nuova sequenza MR gradient echo multiecho, che ottimizzasse i tempi di acquisizione garantendo al contempo la possibilità di ottenere dati ragionevoli su cui applicare algoritmi di stima parametrica. Definiti i parametri di tale sequenza (gradient echo a cinque echo time distinti), è stato formalizzato il modello ottimo per la descrizione del decadimento del vettore di magnetizzazione trasversa. La stima del parametro R<sub>2</sub>\* su una prima coorte di pazienti ha permesso di individuare, nelle lesioni corticali, pattern che potrebbero essere associati a diversi gradi di attività / infiammazione delle lesioni stesse. Un'analisi accoppiata con sequenze MRI dynamic susceptibility contrast (DSC) permetterà di verificare la correttezza dei risultati ottenuti.

Durante lo sviluppo del progetto, le tecniche di image processing implementate hanno

trovato utilizzo in altri progetti paralleli il cui denominatore comune è la creazione di algoritmi automatici di aiuto alla diagnosi, che evitino i problemi tipici (necessità di personale addestrato, variabilità intra- e interoperatore) associati a ogni tipo di valutazione di immagini eseguita manualmente. In particolare, i progetti sviluppati riguardano:

lo sviluppo di un algoritmo di analisi semiautomatica di immagini fornite da ecografia a contrasto nelle patologie artritiche, per la segmentazione delle regioni sinoviali e la caratterizzazione della dinamica del mezzo di contrasto;

lo sviluppo di un algoritmo per la stima automatica del diametro e dello spessore intima-media in immagini ecografiche di aorte addominali fetali;

lo sviluppo di un algoritmo per la diagnosi automatica di esofagite di Barrett in esami di endomicroscopia;

lo sviluppo di un algoritmo per la misura automatica del processo di osteointegrazione in impianti dentali.

- Titolo definitivo della tesi e nome del supervisore

**Methods for segmentation and characterization of multiple sclerosis cortical lesions from MRI data** (Prof. E. Grisan)

### Parte 3 Pubblicazioni

Elenco pubblicazioni su rivista internazionale

*Improved detection of synovial boundaries in ultrasound examination by using a cascade of active-contours*, E. Veronese, R. Stramare, A. Campion, E. Scagliori, V. Beltrame, A. Coran, B. Raffeiner, U. Fiocco, E. Grisan, submitted to Medical Engineering & Physics 2011 (submitted)

Elenco pubblicazioni su convegno internazionale

*Automatic segmentation of gray matter multiple sclerosis lesions on DIR images*, E. Veronese, E. Grisan, M. Calabrese, A. Favaretto, P. Gallo, A. Bertoldo (16<sup>th</sup> Annual Meeting of the OHBM, Barcellona, 2010)

*Altered hemodynamics of cortical lesions in multiple sclerosis*, D. Peruzzo, M. Castellaro, M. Calabrese, E. Veronese, F. Rinaldi, V. Bernardi, A. Favaretto, I. Mattisi, P. Gallo, A. Bertoldo (ECTRIMS 2010, Gothenburg, 2010)

*Automatic segmentation of gray matter multiple sclerosis lesions on FLAIR and DIR images*, E. Veronese, E. Grisan, M. Calabrese, A. Favaretto, I. Mattisi, F. Rinaldi, P.

Gallo, A. Bertoldo (19<sup>th</sup> Annual Meeting and Exhibition ISMRM, Montreal, Canada, 2011)

*Semi automatic detection of synovial boundaries in water-immersion ultrasound examination*, E. Veronese, A. Campion, B. Raffener, R. Stramare, E. Grisan (2<sup>nd</sup> IASTED International Conference on Computational Bioscience, July 2011, Cambridge, UK)

*Unsupervised segmentation of brain tissues using multiphase level sets on multiple MRI sequences*, E. Veronese, E. Poletti, M. Calabrese, A. Bertoldo, E. Grisan (2<sup>nd</sup> IASTED International Conference on Computational Bioscience, July 2011, Cambridge, UK)

*Longitudinal analysis of the perfusion and diffusion parameters of cortical lesions and normal appearing cortical gray matter in multiple sclerosis*, M. Castellaro, L. Squarcina, E. Veronese, D. Peruzzo, E. Grisan, A. Bertoldo, M. Calabrese, P. Gallo (5th joint triennial congress ECTRIMS / ACTRIMS 2011, 19-21 ottobre 2011)

Elenco pubblicazioni su convegno nazionale

*Gray matter multiple sclerosis lesions identification in DIR sequences*, E. Veronese, E. Grisan, M. Calabrese, A. Favaretto, P. Gallo, A. Bertoldo (2<sup>nd</sup> National Congress of Bioengineering, Torino, 2010)

*Hemodynamics of cortical lesions in multiple sclerosis: a dynamic susceptibility contrast magnetic resonance imaging study*, M. Castellaro, D. Peruzzo, M. Calabrese, E. Veronese, F. Rinaldi, V. Bernardi, A. Favaretto, I. Mattisi, P. Gallo, A. Bertoldo (XLI Congresso della Società Italiana di Neurologia, Catania, 2010)

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato la dott.ssa **Veronese Elisa** si è impegnata 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 della candidata, le sue ottime capacità nella ricerca e gli originali risultati conseguiti.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.



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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Verzotto Davide** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

## Parte I – Didattica

### *Corsi seguiti*

- \* Elenco dei corsi di Dottorato seguiti che hanno dato luogo ad esame, all'interno del Catalogo 2009 della Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione e della Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze Matematiche:
  - Computation of Game and Market Equilibria, Prof. B. Codenotti, n. 20 ore.
  - Applied Functional Analysis, Prof. G. Pillonetto, n. 28 ore.
  - Statistical Methods, Prof. L. Finesso, n. 24 ore.
  - Approximation Algorithms, Prof. G. Lancia, n. 10 ore.
  
- \* Elenco dei corsi di Dottorato seguiti che non hanno dato luogo ad esame, all'interno del Ph.D. Program 2010 in Computer Science and Engineering – University of California, Riverside:
  - Computational Methods for the Analysis of Biomolecular Data, Prof. S. Lonardi, n. 38 ore.
  - Algorithmic Techniques in Computational Biology, Prof. T. Jiang, n. 38 ore.
  
- \* Elenco di altri corsi seguiti nell'anno 2009 che non hanno dato luogo ad esame:
  - Bioinformatics and Computational Biology, Prof. A. Apostolico, n. 54 ore.

### *Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi*

- \* International School “The Analysis of Patterns,” third event. Parco scientifico e tecnologico di Sardegna, Pula, Cagliari, 27 settembre–3 ottobre 2009.

Organizzatori: N. Cristianini (University of Bristol), F. Roli (Università degli Studi di Genova). Keynote Speakers: J.-P. Vert (Mines ParisTech), J. Shawe-Taylor (University College London), B. Goethals (University of Antwerp).

*Seminari seguiti al DEI o in altre sedi*

- \* Nell'ambito delle Distinguished Lecturer Series e dei Colloquia 2009 e 2010 del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione:
  - Prof. C.I. Byrnes (Washington University, St. Louis), "The analysis and design of the steady-state behavior of nonlinear systems: taming nonlinear excursions in the spirit of Lagrangia and Liapunov."
  - Prof. P. Perona (California Institute of Technology), "Towards categorization in sensory systems."
  - Prof. F.J. Doyle III (University of California, Santa Barbara), "Robustness in biological networks: from genes to cells to systems."
  - D. Taubman (University of New Southern Wales), "Motion, Geometry and Metadata for Multimedia Compression and Delivery."
  - Prof. R. Giancarlo (Università di Palermo), "Computational cluster validation for microarray data analysis: experimental assessment of Clest, Consensus Clustering, Figure of Merit, Gap Statistics and Model Explorer."
  - Prof. P. Crescenzi (Università di Firenze), "Parsimonious flooding in dynamic graphs."
  - Dr. R. Gomes (California Institute of Technology), "Incremental clustering with nonparametric Bayesian models."
  - Prof. M. Liserre (IEEE Industrial Electronic Magazine, Editor-in-Chief; Poli-tecnico di Bari), "Alcuni suggerimenti per scrivere un articolo scientifico per le pubblicazioni della IEEE (Transactions o Magazine)."
  - E. Upfal (Brown University), "Computational Problems in Cancer Genomics."
  - D. Piccini (Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg), "Research activities at the Pattern Recognition Lab of the Univerity of Erlangen-Nuremberg."
  
- \* Nell'ambito dei Seminari Interdisciplinari P2P 2009 dei Dipartimenti di Biologia, Chimica Biologica, Fisica, Scienze Chimiche e Scienze Farmaceutiche, e delle Scuole di Dottorato in Bioscienze e Biotecnologie e in Scienze Molecolari:
  - Dr. M. Albrecht (Max-Planck-Institut für Informatik, Saarbrücken),

- “Network Bioinformatics for understanding protein interactions.”
- Dr. G. Capitani (Universität Zürich, ETH), “Structural studies of the type 1 pilus system from uropathogenic Escherichia coli.”
  - Dr. J. Söding (Gene Center Munich and Ludwig-Maximilians-Universität München), “Protein remote homology detection and protein evolution.”
  - Prof. S. Bettati (Università degli Studi di Parma), “Functional properties of immobilized proteins.”
- \* Nell’ambito dei Colloquia Patavina 2009 dei Dipartimenti di Matematica Pura e Applicata e di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate – Università degli Studi di Padova:
- Prof. C. Priami (COSBI, Microsoft Research – Università degli Studi di Trento), “Algorithmic Systems Biology.”
- \* Nell’ambito delle Distinguished Lecture Series e dei Colloquia 2010 e 2011 del Department of Computer Science and Engineering – University of California, Riverside:
- B. Liskov (Massachusetts Institute of Technology), “The power of abstraction.”
  - P. Raghavan (Yahoo!, Senior vice president and head), “Heavy tails and models for the web and social networks.”
  - E. Myers (Howard Hughes Medical Institute, Janelia Farm), “Decoding the genome with bioimage informatics.”
  - R.E. Tarjan (Princeton University – HP Labs), “Deletion without rebalancing in balanced search trees.”
  - S. Papadimitriou (IBM T.J. Watson Research Center), “Scalable mining of multi-modal networks.”
  - A. Niculescu-Mizil (IBM T.J. Watson Research Center), “Transfer learning for scientific discovery.”
  - C.Q. Tang (IBM T.J. Watson Research Center), “Precise discovery of request processing paths in distributed systems.”
  - F. Chen (University of Wisconsin–Madison), “Optimizing information extraction over evolving text.”
  - H.V. Madhyastha (University of California, San Diego), “Taming the scale and costs of (really) large distributed systems.”
  - V. Sekar (Carnegie Mellon University), “Effective management through system-wide coordination and optimization.”

- D. Long (University of California, Santa Cruz), “Scalable chunk-based deduplication for backup and archival storage.”
  - L. Tang (Arizona State University), “Harnessing the power of social media.”
  - S. Ioannidis (Technicolor), “Leveraging social networks in the design of distributed systems.”
  - G. Haffari (Simon Fraser University), “Semi-supervised learning for hard natural language problems.”
  - A. Meyerson (University of California, Los Angeles), “Improved Streaming Algorithms for the K-Means Problem.”
  - L. Getoor (University of Maryland), “Statistical Relational Learning: Theory & Applications.”
  - W. Scacchi (University of California, Irvine), “Game-Based Virtual Worlds as Decentralized Virtual Activity Systems.”
  - A. Wierman (California Institute of Technology), “Speed scaling: An algorithmic approach.”
  - V. Hristidis (Florida International University), “Information Discovery on Vertical Domains.”
  - Y. Chen (Arizona State University), “Information Discovery through Learning, Search and Exploration.”
  - T. Dumitras (Symantec Research), “Field Data Available at Symantec Research Labs: The Worldwide Intelligence Network Environment (WINE).”
- \* Nell’ambito del Journal Club 2010 – Algorithms and Computational Biology Lab, Department of Computer Science and Engineering – University of California, Riverside:
- T. Kahveci (University of Florida), “Comparative analysis of biological networks.”
  - M. Chrobak, “Minimum energy scheduling.”
  - E. Harris, “BRAT: Bisulfite-treated reads analysis tool.”
  - Y. Cao, “Is maximum substructure search feasible for small molecule databases?”
  - J. Feng, “Inference of isoforms from short sequence reads.”
  - C. Koufogiannakis, “Distributed algorithms for finding 2-approximations of the Vertex Cover problem.”
- \* Nell’ambito delle Ph.D. Thesis Defenses 2010 del Department of Computer Science and Engineering – University of California, Riverside:

- E. Harris, "Computational methods for epigenetic studies."
- \* Nell'ambito dei Bioinformatics Workshops 2010 e 2011 su Next-Generation Sequencing Data Analysis, Institute for Integrative Genome Biology – University of California, Riverside:
  - S. Baker, D. Risal, and J. Stajich (Illumina); N. Ponts, E. Harris, Q. Wu, and T. Backman, "Illumina next generation sequencing – Special seminar."
  - T. Girke, T. Backman, and R. Sun, "GUI-based exploration and visualization of next-generation sequencing data."
  - A. Hutcheson (Pacific Biosciences), "Revealing SMRT Biology – Single Molecule, Real-Time DNA Sequencing – Special seminar."
  - P. Atkinson (CEPCEB, University of California, Riverside), "Comparative Mosquito Genomics and Transposon Regulation."

#### *Partecipazione a conferenze internazionali*

- \* IEEE International Conference on Computational Advances in Bio and medical Sciences "ICCABS 2011" e Workshop on Computational Advances for Next Generation Sequencing "CANGS 2011," first event. Holiday Inn – in the Walt Disney World Resort, Orlando, Florida, 3–5 febbraio 2011. Organizzatori: S. Rajasekaran (University of Connecticut), I. Mandoiu (University of Connecticut), A. Zelikovsky (Georgia State University). Keynote Speakers: A. Califano (Columbia University), C. Leslie (Memorial Sloan-Kettering Cancer Center), J. Reif (Duke University).

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

- \* Tutor junior e Lecturer per Fondamenti di Informatica, area di Ingegneria dell'Informazione, Prof. A. Luchetta, (ottobre 2008–)gennaio 2009.
- \* Tutor junior e Lecturer (n. 40 ore) per Fondamenti di Informatica, area di Ingegneria dell'Informazione, Prof. F. Bombi, ottobre 2009–gennaio 2010.
- \* Sorveglianza agli esami di Stato, prima sessione anno 2011 (giugno–luglio).

#### *Permanenza all'estero*

- \* Visiting Scholar / Junior Specialist presso la University of California, Riverside (USA), supervisore Prof. Stefano Lonardi. Attività di ricerca riguardante lo studio di metodi informatici efficaci ed efficienti per l'analisi e l'elaborazione di

sequenze biologiche, con applicazioni in biologia molecolare e in bio-informatica. A tal fine sono state ottenute due borse di studio per l'estero "Fondazione Ing. Aldo Gini." Gennaio 2010–aprile 2011.

## Parte II – Ricerca

### *Ambito generale*

Pattern Discovery e Machine Learning in Bio-informatica.

### *Descrizione dell'attività di ricerca*

**Background.** La ricerca proposta ha l'obiettivo di individuare metodi efficaci ed efficienti per l'analisi e l'elaborazione sistematica di grandi moli di dati e sequenze, con applicazioni nel campo della biologia molecolare e della bio-informatica. In particolare, l'ambito in questione concerne problemi di riconoscimento di informazioni in collezioni massive di dati, quali stringhe e sequenze biologiche, ed viene qui caratterizzato dallo sviluppo di metodi computazionali basati sulla scoperta e selezione di schemi ricorrenti, o *pattern*, con particolari caratteristiche. Queste caratteristiche sono in genere derivate da reali proprietà bio-molecolari —quali, ad esempio, mutazioni ricorrenti di amminoacidi, oppure segnali presenti nel codice genetico— e vengono caratterizzate durante il lavoro di ricerca da interessanti proprietà algebrico-sintattiche.

**Metodi.** L'attività di ricerca è stata suddivisa durante i tre anni di Dottorato di Ricerca in due filoni:

1. l'analisi sistematica dei pattern che incidono sulla classificazione di sequenze biologiche, in contesti quali la rilevazione di omologie di sequenza tra proteine evolutivamente distanti, e la ricostruzione filogenetica di organismi basata su interi genomi;
2. lo studio del genoma e dell'epigenoma del parassita responsabile della malaria nell'uomo, attraverso l'analisi del posizionamento dei nucleosomi nei diversi stadi di evoluzione del parassita all'interno del corpo umano.

*Pattern Analysis*—Per quanto riguarda il primo filone di ricerca, sono stati sviluppati due metodi computazionali per la scoperta e selezione di pattern comuni a un insieme

di sequenze biologiche, al fine di classificare correttamente le sequenze in esame. Il primo approccio concerne la scoperta di pattern “non ridondanti” comuni a coppie di sequenze biologiche, ovvero pattern in cui l’informazione di similarità presente nelle due sequenze non viene mai conteggiata più volte, evitando così di indurre in errore la classificazione finale. Il secondo approccio prevede la selezione dei pattern che caratterizzano maggiormente una regione delle sequenze di riferimento, utilizzando una metrica basata sulla composizione lessicografica e distribuzione statistica dei pattern.

*Nucleosome Positioning*—Il secondo filone di ricerca, riguardante lo studio sull’epigenomica effettuato presso la University of California, Riverside, vede l’identificazione di *binding sites* da parte dei nucleosomi —ovvero porzioni di DNA della dimensione media di 147 coppie di basi nucleotidiche, le quali interagiscono con ottameri proteici chiamati istoni— all’interno del genoma del parassita della malaria, e lo studio del posizionamento spazio-temporale di questi nucleosomi attraverso l’analisi della copertura estesa di particolari *reads*, ovvero frammenti di DNA ottenuti tramite sequenziamento del genoma. Per quanto riguarda il primo problema, è stato sviluppato un modello di posizionamento che considera la staticità dei nucleosomi in diverse serie di tempo, e ne deriva fasi di nucleotidi localizzate ad equa distanza sul genoma che si intensificano a seconda della maggiore staticità dei nucleosomi stessi. Il secondo argomento concerne l’analisi della distribuzione statistica e dell’estensione ottimale delle *reads* sul genoma del parassita, al fine di identificare quali geni vengono più spesso inibiti/protetti dai nucleosomi durante le fasi di trascrizione e replicazione del DNA. Le *reads* sono ottenute tramite tecnologie di sequenziamento di nuova generazione, o *next-generation sequencing*, dopo aver applicato l’enzima *micrococcal nuclease*, permettendo così di analizzare lo spostamento dei nucleosomi in sette periodi di tempo distanziati di sei ore l’uno dall’altro, corrispondenti agli stadi di evoluzione del parassita nel corpo umano.

**Risultati.** I metodi proposti sono stati efficacemente applicati all’analisi sistematica di considerevoli sequenze biologiche. In particolare, le nozioni presentate in *Pattern Analysis* hanno dimostrato di saper migliorare i metodi allo stato dell’arte per quanto riguarda la scoperta di pattern funzionali e la classificazione di sequenze proteiche, e di saper predire correttamente l’albero della vita di alcuni virus, batteri e organismi eucarioti. Inoltre, gli approcci presentati in *Nucleosome Positioning* hanno dimostrato di saper individuare correttamente alcuni pattern all’interno del genoma a cui gli istoni dei nucleosomi si legano più facilmente. È stato infine determinato, in maniera sistematica, un elevato grado di staticità da parte dei nucleosomi nei pressi dei geni più

significativi per la malaria, coerentemente con i test sperimentali effettuati nel laboratorio di biologia molecolare dell'Institute for Integrative Genome Biology della University of California, Riverside.

#### *Attività di revisione per riviste e convegni internazionali*

- \* Theoretical Computer Science, 2011–presente.
- \* BMC Bioinformatics, 2011–presente.
- \* BMC Algorithms for Molecular Biology (AMB), 2010–presente.
- \* International Journal of Foundation of Computer Science (IJFCS), 2009–presente.
  
- \* ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), 2011–presente.
- \* IEEE International Conference on Computational Advances in Bio and medical Sciences (ICCABS), 2011–presente.
- \* Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2010–presente.
- \* IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), 2009–presente.

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

- \* Titolo definitivo della tesi: *Advanced Computational Methods for Massive Biological Sequence Analysis*.
- \* Supervisore: Dr. Comin Matteo.

### Parte III – Pubblicazioni

#### *Elenco pubblicazioni su rivista internazionale, e capitoli di libro*

- \* Comin, M., and Verzotto, D. (2010). “Classification of Protein Sequences by means of Irredundant Patterns.” *BMC Bioinformatics*, 11(Suppl. 1):S16.
- \* Comin, M., and Verzotto, D. (2011). “The Irredundant Class Method for Remote Homology Detection of Protein Sequences.” *Journal of Computational Biology*, 18(12): 1819–1829.
- \* Comin, M., and Verzotto, D. (to appear, 2012). “Comparing, Ranking and



Filtering Motifs with Character Classes: Application to Biological Sequence Analysis.” In *Biological Knowledge Discovery Handbook: Preprocessing, Mining and Postprocessing of Biological Data*. Edited by M. Elloumi and A.Y. Zomaya: Wiley, New York, USA.

*Elenco pubblicazioni su convegno internazionale*

- \* Comin, M., and Verzotto, D. (2010). “Classification of Protein Sequences by means of Irredundant Patterns.” Proceedings of the Eighth Asia-Pacific Bioinformatics Conference (APBC 2010), Bangalore, India. (Oral presentation, accepted: 29 %).
- \* Comin, M., and Verzotto, D. (invited article, 2010). “Remote Homology Detection of Protein Sequences.” In *Structure Discovery in Biology: Motifs, Networks & Phylogenies*, no. 10231 in Dagstuhl Seminar Proceedings. Edited by A. Apostolico, A. Dress, L. Parida: Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik, Dagstuhl, Germany.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Verzotto 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

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

Negli anni accademici 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 il dott. **Zennaro Davide** ha frequentato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova la Scuola di Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, XXIV ciclo, Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione.

### Parte 1 Didattica

- Corsi seguiti(2009)
  - “Topics in quantum information”, Prof. F.Ticozzi (16 ore)
  - “Applied linear algebra”, Prof. T. Damm and Prof. H. Wimmer (16 ore)
  - “Codes, graphical models, distributed algorithms”, Prof. F. Fagnani (20 ore)
  - “Identification techniques”, Prof. A. Chiuso (20 ore)
  - “Statistical methods”, Prof. L. Finesso (24 ore)
  - “Filtering, data analysis and optimization for uncertain systems identification” (28-30 Settembre, Politecnico di Milano)
- Partecipazione a scuole nazionali per dottorandi
  - Scuola estiva a Verres (AO) – “Mathematical Foundations of Complex Networked Information Systems” (22-26 Giugno 2009)
  - Scuola estiva di ingegneria dell'informazione a Bressanone (BZ) - (29 Giugno 2009 – 3 Luglio 2009)
  - Scuola estiva a Lipari (ME) – “Mobile Computing and Communications: Towards the Next Generation of Networks” (17-24 Luglio 2010)
- Partecipazione a scuole internazionali
  - 2nd COST2100 Training School - “MIMO: from theory to implementation”, Parigi, Francia (9-11 Marzo 2009)
  - North American 2011 School of Information Theory presso the University of Texas at Austin (27-30 Maggio 2011)
- Seminari seguiti
  - 12 Seminari seguiti presso il DEI nell'anno 2009
  - 5 Seminari seguiti presso il DEI nell'anno 2010
  - 2 Seminari seguiti presso Texas A&M University nell'anno 2011
  - 5 Seminari seguiti presso il DEI nell'anno 2011
- Partecipazione a Conferenze/Workshop Nazionali
  - Workshop multidisciplinare organizzato dal GROOD, Padova, Italy (3 Giugno 2009)
  - Physical layer security workshop, Padova, Italy (7-8 Settembre 2009)
- Partecipazione a Conferenze Internazionali

- Presentazione dell'articolo "Fast clock synchronization in wireless sensor networks via ADMM-based consensus" alla conferenza WiOPT 2011, Princeton (NJ), USA, 9-13 Maggio 2011.
- Permanenza all'estero
  - Da Gennaio a Luglio 2011 sono stato "Visiting Scholar" presso l'Electrical & Computer Engineering, Texas A&M University, College Station, TX (USA), con docente di riferimento Prof. Erchin Serpedin.

## Parte 2 Ricerca

- **Sincronizzazione di clock distribuita in reti wireless di sensori:**
  - Ho dapprima effettuato uno studio dello stato dell'arte della sincronizzazione di clock in reti wireless di sensori, con particolare riferimento agli algoritmi packet-coupled (tra gli altri, Reference-Broadcast Synchronization, Timing-Sync Protocol for Sensor Networks, Flooding Time Synchronization Protocol, etc). Ho effettuato lo studio delle loro prestazioni ed effettuato dei confronti. Dopo aver studiato i suddetti algoritmi, mi sono concentrato sugli algoritmi per la stima di clock offset e skew tra coppie di nodi che si scambiano informazioni tramite il "two-way message exchange", topic di cui Prof. Serpedin della Texas A&M University risulta uno dei massimi esperti.
  - Da Gennaio a Luglio 2011 sono stato Visiting Scholar presso l'Electrical & Computer Engineering, Texas A&M University, College Station, TX (USA), con docente di riferimento Prof. Erchin Serpedin. Durante questo periodo ho potuto applicare al problema della sincronizzazione di clock le conoscenze acquisite in precedenza. In particolare, collaborando con A. Ahmad (dottorando di Prof. Serpedin), con Prof. E. Serpedin e con il mio supervisore, Prof. Vangelista, ho utilizzato la teoria del message passing algorithm per attaccare il problema del clock offset estimation in reti di sensori wireless. In particolare, ho applicato il *max-product algorithm* per determinare l'espressione dello stimatore del clock offset tra due nodi sensore quando si assume che il ritardo di trasmissione dei messaggi scambiati tra i due nodi attraverso il canale wireless segua una funzione di verosimiglianza Gaussiana, esponenziale oppure log-normale. Questa generalizzazione rispetto allo stato dell'arte mi ha permesso di ricavare risultati originali nell'ipotesi realistica in cui il clock offset venga assunto tempo variante (secondo un Gauss-Markov model), ma anche riconfermare risultati preesistenti in letteratura nel caso particolare in cui l'offset risulti tempo invariante. Inoltre, ho ricavato l'espressione di limiti inferiori al mean squared estimation error, i quali hanno confermato la bontà degli stimatori proposti nei vari casi. Grazie a questa collaborazione, sono stati sottomessi due lavori, uno a rivista (*IEEE Transactions on Information Theory*) e l'altro a conferenza (*ICASSP 2012*)
  - Assieme ad A. Ahmad, Prof. E. Serpedin ed al mio supervisore, Prof. Vangelista, sto lavorando all'applicazione della teoria dei factor graphs al

problema della sincronizzazione di clock lungo tutta la rete di sensori wireless quando il ritardo di trasmissione dei messaggi segue una distribuzione esponenziale. L'algoritmo proposto vede l'applicazione del max-product algorithm per la derivazione dell'espressione dello stimatore del clock offset di un nodo rispetto al tempo di riferimento, ad ogni passo dell'algoritmo.

- Con Tomasi Beatrice del gruppo di Prof. Michele Zorzi si sta lavorando ad un nuovo algoritmo per la sincronizzazione di clock distribuita in reti acustiche underwater.

- **Consensus distribuito ed applicazione alla sincronizzazione di clock in reti wireless di sensori:**

- Ho dapprima effettuato uno studio dello stato dell'arte dei consensus algorithms distribuiti per reti di sensori wireless (e le proprietà di convergenza legate al grafo di comunicazione della rete). Assieme a Prof. Erseghe, Dr. Dall'Anese e il mio supervisore, Prof. Vangelista, ho studiato l'applicazione di un metodo distribuito (alternating direction multipliers method, ADMM) per aumentare la velocità di convergenza del consensus sul valore medio delle letture locali dei nodi sensore in una rete. Ho effettuato uno studio teorico e simulativo delle proprietà di convergenza e di resistenza al rumore di quantizzazione del metodo proposto modellizzando la rete sottostante secondo grafi quali mesh grid, line e random geometric. Si evidenzia un significativo miglioramento in termini di noise resilience rispetto alle soluzioni presenti in letteratura, mentre la velocità di convergenza si attesta sul livello dei più veloci algoritmi di fast consensus presenti in letteratura.

Il risultato di questa collaborazione è stata la pubblicazione di un articolo sulla rivista *IEEE Transactions on Signal Processing*, che è uscito nel mese di Novembre 2011.

- Ho dapprima effettuato uno studio dei consensus algorithms al fine di un'applicazione degli stessi al problema della sincronizzazione di clock. Unendo le conoscenze acquisite dalla teoria dei consensus algorithms e sfruttando il nuovo (ADMM-based) algoritmo di fast-consensus proposto, con Prof. Erseghe, Dr. Dall'Anese e il mio supervisore, Prof. Vangelista, ho introdotto un nuovo algoritmo per la sincronizzazione di clock distribuito in reti di sensori wireless, riformulato come un problema di raggiungimento del consensus su frequenza e fase tra i diversi oscillatori nella rete. La collaborazione si è felicemente conclusa con la presentazione da parte mia di un articolo su questo lavoro presso la conferenza *WiOPT 2011*, Princeton, NJ (USA), 9-13 Maggio 2011.

- **Selezione delle BSs cooperanti per la decodifica di un pacchetto trasmesso da un mobile terminal (uplink) in un sistema cellulare:** assieme a Prof. Tomasin e il mio supervisore, Prof. Vangelista, ho introdotto un algoritmo (subottimo ma efficiente) di selezione delle BSs sulla base delle informazioni riguardanti lo stato

del canale di trasmissione (path loss) e dipendentemente dalla policy di controllo errore scelta (plain-ARQ, HARQ con Chase Combining – HARQ-CC - e HARQ con Incremental Redundancy - HARQ-IR) in presenza di inter-cell interference. Il confronto con le tecniche esistenti mostra un significativo miglioramento delle prestazioni in termini di backhaul usage.

La collaborazione si e' felicemente conclusa con la pubblicazione di un articolo da conferenza a *GLOBECOM 2010* e un articolo da rivista presso la prestigiosa rivista *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, uscito nel mese di Giugno 2011. Inoltre, ho presentato un poster alla North American 2011 School of Information Theory, 27-30 Maggio 2011, presso la University of Texas at Austin.

- **Modellizzazione del sistema di rilevamento della mappa di profondita di una scena 3D tramite una ToF camera:** negli ultimi mesi ho iniziato una nuova collaborazione con Prof. Erseghe, Prof. Tomasin e il mio supervisore, Prof. Vangelista, per la modellizzazione del sistema di rilevamento della mappa di profondita' di una scena 3D tramite una *time-of-flight* camera, il cui principio di funzionamento consiste nell'elaborazione della misura del tempo di volo di un segnale ottico modulato per la stima della distanza dei punti della scena dal rivelatore di luce. L'analisi sta avendo luogo anche grazie ad una stretta collaborazione con il gruppo di ricerca di "Multimedia Technology and Telecommunications Lab" del DEI, diretto da Prof. Cortelazzo.

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

“Clock Synchronization in Wireless Sensor Networks: Statistical and Algorithmic Analysis”

Supervisore: Prof. Lorenzo Vangelista.

### **Parte 3 Pubblicazioni**

- PUBBLICAZIONI SU RIVISTA
  - Zennaro, D.; Tomasin, S.; Vangelista, L.; , "Base Station Selection in Uplink Macro Diversity Cellular Systems with Hybrid ARQ," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* , vol.29, no.6, pp.1249-1259, June 2011
  - Erseghe, T.; Zennaro, D.; Dall'Anese, E.; Vangelista, L.; , "Fast Consensus by the Alternating Direction Multipliers Method," *Signal Processing, IEEE Transactions on* , vol.59, no.11, pp.5523-5537, Nov. 2011.
  - Ahmad A., Zennaro D., Serpedin E., and Vangelista L., “A Factor Graph Approach to Clock Offset Estimation in Wireless Sensor Networks”, submitted to Transactions on Information Theory.

- PUBBLICAZIONI SU CONFERENZA
  - i. D. Zennaro, S. Tomasin and L. Vangelista, "*Uplink Cell Selection for Cooperative Multi-Cell Networks with Hybrid ARQ*," in Proc. of IEEE Global Telecommunications Conf. (GLOBECOM), Miami (FL), Dec. 6-10, 2010.
  - ii. Zennaro, D.; Dall'Anese, E.; Erseghe, T.; Vangelista, L.; , "Fast clock synchronization in wireless sensor networks via ADMM-based consensus," *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 2011 International Symposium on* , vol., no., pp.148-153, 9-13 May 2011.
  - iii. Ahmad A., Zennaro D., Serpedin E., and Vangelista L., "TIME-VARYING CLOCK OFFSET ESTIMATION IN TWO-WAY TIMING MESSAGE EXCHANGE IN WIRELESS SENSOR NETWORKS USING FACTOR GRAPHS", submitted to ICASSP 2012.

Durante i tre anni della Scuola di Dottorato il dott. **Zennaro 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.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

## **8. Programmazione didattica 2012**

Il Direttore illustra al collegio il calendario dei corsi per l'anno 2012. Il calendario, organizzato dal Prof. Lorenzo Vangelista, è composto di 16 corsi per gli studenti della Scuola che ricoprono tutte le aree di interesse. 3 corsi hanno docenti provenienti da prestigiose istituzioni straniere, 7 sono in collaborazione con la scuola di dottorato di matematica. I dottorandi possono inoltre scegliere, dal Catalogo 2012 della Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze Matematiche, i corsi: "Courses of the School": da S-1 a S-4; Courses of the "Computational Mathematics" area: da MC-1 a MC-10.

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 2012.

## **9. Richiesta di patrocinio per la Scuola estiva di Ingegneria dell'Informazione per l'anno 2012.**

La discussione di questo punto viene rinviata alla prossima riunione del collegio dei docenti prevista per gennaio 2012.

## **11. Rinnovo organi della scuola**

### *Elezioni coordinatori di Indirizzo*

Il Direttore rende noto al collegio il risultato delle votazioni per l'elezione dei coordinatori degli indirizzi Bioingegneria e Scienza e Tecnologia dell'Informazione per il quadriennio 2012 – 2015.

### Indirizzo Scienza e Tecnologia dell'Informazione:

Non essendo stato raggiunto il numero legale per l'avvio delle votazioni, la seduta è stata dichiarata nulla. Le votazioni pertanto sono state rinviate a gennaio 2012.

### Indirizzo Bioingegneria: risulta eletto il Prof. Giovanni Sparacino

Il Direttore ringrazia il Prof. Sparacino per la disponibilità e ringrazia il Prof. Claudio Cobelli, coordinatore uscente, per la preziosa collaborazione fornita durante il suo mandato.

### *Elezioni consiglio direttivo*

Il Direttore, comunica al collegio le candidature pervenute per il nuovo Consiglio Direttivo.

Ricorda che i due coordinatori di indirizzo sono membri di diritto.  
Ricorda che ogni candidato per essere eletto deve ricevere almeno due preferenze.

Il Direttore invita il collegio a procedere con le votazioni il cui risultato viene di seguito riportato:

numero votanti: 27  
schede nulle: 3 (Vitturi, dipendente CNR)  
schede bianche: 4

#### Preferenze

Matteo Bertocco	2
Gianfranco Bilardi	3
Antonio Daniele Capobianco	3
Claudio Cobelli	3
Andrea Neviani	4
Francesca Rossi	2
Michele Zorzi	3

In virtù dei risultati esposti, vengono eletti membri del consiglio direttivo i Proff.: Matteo Bertocco, Gianfranco Bilardi, Antonio Daniele Capobianco, Claudio Cobelli, Andrea Neviani, Francesca Rossi, Michele Zorzi. Rimane non assegnata una posizione per la quale è prevista una nuova votazione a gennaio 2012.

Per motivi di urgenza tale delibera viene letta, approvata e sottoscritta seduta stante.

Il Segretario

Il Direttore della Scuola