

Documento di progettazione del corso di dottorato in Tecnologie dell'Informazione

1. Introduzione

Il corso di dottorato in Tecnologie dell'Informazione fa riferimento alla consolidata tradizione dell'unità di Ingegneria dell'Informazione facente capo al Dipartimento di Ingegneria e Architettura. L'unità, sin dalla fondazione, ha partecipato a importanti programmi di ricerca in ambito nazionale ed internazionale e ha dato vita a numerose collaborazioni di ricerca in ambito nazionale e internazionale principalmente nei seguenti campi:

- Elettronica, strumentazione e azionamenti*
- Sistemi di elaborazione e automatica*
- Telecomunicazioni e campi elettromagnetici.*

Il corso di dottorato mira a fornire agli allievi una preparazione scientifica di livello superiore nella vasta area delle tecnologie dell'Informazione, che comprende in particolare i settori scientifico-disciplinari IINF-01/A (già ING-INF/01), IINF-02/A (già ING-INF/02), IINF-03/A (già ING-INF/03), IINF-04/A (già ING-INF /04), IINF-05/A (già ING-INF /05) e IMIS-01/B (già ING-INF /07), alla quale fa riferimento per le applicazioni il settore IIND-08/A (già ING-IND/32) e per gli aspetti metodologici il settore MATH-06/A (già MAT/09).

2. Obiettivi formativi

I dottorandi dovranno acquisire un numero minimo di crediti formativi (20) tramite corsi sia su tematiche specifiche degli ambiti disciplinari del corso di dottorato sia su tematiche di carattere trasversale. I crediti formativi possono essere acquisiti attraverso l'erogazione di corsi tenuti da docenti dell'unità dell'Informazione, da docenti esterni di elevata qualificazione scientifica e, talvolta, da rappresentanti del mondo aziendale. Un elenco dei corsi resi disponibili per il corrente anno accademico è riportato nell'allegato A di questo documento. Accanto ai corsi elencati, durante l'anno si riescono a organizzare anche altri corsi, tenuti, per esempio, da docenti in visita. Di tali corsi i dottorandi sono avvisati tramite mail. I dottorandi sono anche incoraggiati a partecipare a scuole di dottorato e le attività didattiche svolte in tali scuole sono riconosciute al fine del conseguimento dei crediti formativi. L'acquisizione di crediti può avvenire anche tramite corsi erogati da altri dottorati e corsi online certificati.

I dottorandi dovranno inoltre acquisire adeguate competenze linguistiche. A tal scopo la Scuola di Dottorato in Ingegneria e Architettura (SDIA), in cui è incardinato il dottorato in Tecnologie dell'Informazione, offre da diversi anni un corso di Study Skills sulla lingua inglese in ambito

scientifico. Infine, sempre da diversi anni, la SDIA propone un corso propedeutico con approfondimenti su temi quali la stesura di progetti di ricerca, la scrittura di articoli scientifici, la preparazione di brevetti, la valutazione della ricerca.

3. Attività di ricerca

Oltre all'attività di formazione, il dottorando è tenuto a svolgere un'intensa attività di ricerca. La ricerca deve avvenire sotto la supervisione di un tutor. Il tutor viene scelto tra i membri del Collegio Docenti ma anche tra i membri dell'unità di Ingegneria dell'Informazione non necessariamente facenti parte del Collegio Docenti. Viene assegnato al dottorando dal Collegio Docenti nella stessa seduta in cui vengono assegnate le diverse borse disponibili. Si precisa che le sedute del Collegio sono aperte a tutti i membri dell'unità di Ingegneria dell'Informazione. Il tutor interno può essere affiancato da un tutor di altro Ateneo, anche estero, e, nel caso di borse finanziate da aziende o di dottorati industriali, anche da un tutor aziendale, la cui qualificazione scientifica e/o professionale deve essere elevata. Il tutor mette a disposizione del dottorando adeguate risorse bibliografiche e adeguate risorse hardware e software all'interno dei diversi laboratori in cui si articola l'unità dell'Informazione. Come previsto per legge, ogni dottorando ha diritto a un budget per la ricerca utilizzabile, per esempio, per l'acquisto di PC o per pagare l'iscrizione a conferenze. A seconda della tipologia di borsa, tale budget è garantito dall'Ateneo, dal Dipartimento o da un'azienda. Il responsabile dei fondi è il tutor del dottorando.

La supervisione da parte del tutor deve avere come obiettivo la piena maturazione scientifica del dottorando. L'autonomia del dottorando, la sua capacità di elaborare idee originali e, in generale, la sua crescita come ricercatore in senso lato sono obiettivi primari del corso. In fase di ammissione agli anni successivi e all'esame finale sono questi gli aspetti che vengono presi in considerazione. I dottorandi sono anche fortemente incoraggiati a produrre lavori valutati dalla comunità scientifica internazionale. In particolare, ogni dottorando è tenuto a produrre nel corso dei tre anni almeno due lavori accettati per la pubblicazione, dopo una peer-review, su atti di convegni internazionali o almeno un articolo accettato per la pubblicazione, sempre dopo peer-review, su rivista internazionale.

Il dottorato incoraggia inoltre momenti formativi di scambio/presentazione dei risultati di ricerca tramite seminari tenuti dai dottorandi stessi onde favorire sinergie fra le varie aree rappresentate all'interno del Dottorato. Ai dottorandi viene richiesto di presentare la propria area di ricerca senza entrare in dettagli troppo tecnici accessibili solo agli specialisti e

mantenendo un taglio didattico. Per tale ragione, per questi seminari vengono anche attribuiti crediti formativi.

Ai dottorandi vengono fornite diverse opportunità di entrare in contatto sia con altre realtà accademiche nazionali e internazionali, sia con il mondo delle imprese che, attraverso il finanziamento di diverse borse, sono coinvolte nella stesura dei progetti di ricerca dei dottorandi.

Infine, grazie anche agli incentivi offerti dall'Ateneo con la maggiorazione della borsa, i dottorandi sono anche fortemente incoraggiati alla mobilità internazionale.

4. Opinioni dottorandi

I dottorandi devono poter incidere sull'organizzazione del corso di dottorato, mettendo in evidenza eventuali mancanze o suggerendo miglioramenti. A tal fine i dottorandi hanno dei loro rappresentanti, uno per ogni ciclo attivo, all'interno del Collegio Docenti. Ma oltre a questo, recentemente l'Ateneo ha attivato la somministrazione di un questionario di valutazione dove ogni dottorando può valutare diversi aspetti del corso di dottorato, favorendo in questo modo l'individuazione di eventuali criticità.

5. Consultazioni con la parti interessate

Il dottorato sta predisponendo un comitato di indirizzo in cui sono state invitate diverse aziende che a vario titolo hanno già collaborato o collaborano all'interno del dottorato. Lo scopo del comitato di indirizzo è di rendere partecipi le aziende delle linee di ricerca sviluppate nel corso di dottorato e di ricevere dalle stesse un feedback su quali possano essere tematiche di loro interesse. Il fatto che molte borse di dottorato negli ultimi anni siano state finanziate da aziende ha già determinato un'attiva partecipazione delle aziende nella definizione delle linee di ricerca del corso di dottorato. La predisposizione di un comitato di indirizzo ha lo scopo di formalizzare tale partecipazione.

Oltre che con le aziende, il dottorato ha interesse anche a interfacciarsi con i presidenti dei corsi di laurea magistrale facenti capo all'unità dell'informazione (in particolare, Communication Engineering, Ingegneria Elettronica, Ingegneria Informatica). Da alcuni colloqui avuti con studenti di laurea magistrale, è emerso che questi hanno spesso un'idea poco precisa sul dottorato. Quindi, l'interlocuzione con i presidenti ha lo scopo

di individuare momenti informativi per gli studenti di laurea magistrale del secondo anno, che potrebbero essere interessati a continuare con gli studi.

Anche i membri del Collegio, i tutor e in generale i membri dell'Unità dell'Informazione partecipano alla definizione degli obiettivi del corso, proponendo tematiche e attività attuali, promuovendo la partecipazione ad attività di ricerca finanziate mediante bandi competitivi, e coinvolgendo i dottorandi nella preparazione delle proposte progettuali.

6. Sbocchi occupazionali e professionali

Il dottorato promuove incontri con le aziende per presentare alle realtà industriali del territorio le nuove opportunità di collaborazione nell'ambito della formazione dottorale (dottorato industriale, borse sostenute tramite convenzioni con aziende, borse cofinanziate da imprese nell'ambito del PNRR) e per far conoscere ai dottorandi queste stesse realtà, discutendo anche i possibili sbocchi professionali dei dottori di ricerca. Negli ultimi cicli diverse borse di dottorato sono state finanziate o cofinanziate da aziende tramite programmi di cofinanziamento (ad esempio, quello associato alle borse PNRR), convenzioni, dottorati industriali e in alto apprendistato. Le aziende, quindi, manifestano grande interesse per i dottori di ricerca del dottorato in Tecnologie dell'Informazione. Per favorire l'apprendimento di ulteriori competenze direttamente spendibili nel mondo del lavoro sono stati e saranno organizzati seminari e corsi in collaborazione con aziende, quali, ad esempio, OMRON, OCME, Electric80, Beckhoff, COMSOL, National Instruments. Viene mantenuto un monitoraggio sugli sbocchi professionali dei dottori di ricerca, dal quale risulta che tutti trovano importanti e qualificati sbocchi non solo in aziende del territorio e in ambito accademico locale, ma anche a livello nazionale ed internazionale.

7. Collegio docenti

Di seguito si riporta l'attuale composizione del Collegio Docenti. I membri del Collegio soddisfano tutti i requisiti richiesti per l'accREDITAMENTO. Si precisa che le sedute del Collegio sono aperte a tutti i membri dell'unità di Ingegneria dell'Informazione, al fine di permettere a tutti di contribuire attivamente alle attività del dottorato.

Jacopo Aleotti (UNIPR)

Michele Amoretti (UNIPR)

Valentina Bianchi (UNIPR)

Alberto Bononi (UNIPR)

Stefano Cagnoni (UNIPR)
Stefano Caselli (UNIPR)
Paolo Ciampolini (UNIPR)
Giulio Colavolpe (UNIPR)
Carlo Concari (UNIPR)
Luca Consolini (UNIPR)
Paolo Cova (UNIPR)
Annamaria Cucinotta (UNIPR)
Nicola Delmonte (UNIPR)
Ilaria De Munari (UNIPR)
Gianluigi Ferrari (UNIPR)
Tommaso Foggi (UNIPR)
Corrado Guarino Lo Bianco (UNIPR)
Marco Locatelli (UNIPR) --- Coordinatore (PhD Coordinator)
Letizia Marchegiani (UNIPR)
Guido Matrella (UNIPR)
Roberto Menozzi (UNIPR)
Monica Mordonini (UNIPR)
Agostino Poggi (UNIPR)
Andrea Prati (UNIPR)
Giovanna Sozzi (UNIPR)
Michele Tomaiuolo (UNIPR)
Luca Veltri (UNIPR)
Francesco Zanichelli (UNIPR)

Luca Montagnini (Credit Agricole)

8. Sito web del dottorato

Il sito web del dottorato riporta, oltre al presente documento, anche il manifesto dei corsi, la composizione del Collegio Docenti, l'elenco dei dottorandi attuali e dei dottori di ricerca usciti dal corso di dottorato negli ultimi anni e il link alle pagine web del Dipartimento di Ingegneria e Architettura di tutti i gruppi di ricerca coinvolti nel dottorato.

<https://dia.unipr.it/en/node/3080>

Allegato A: Manifesto corsi per l'anno accademico 2024-2025

Title: Compliant Design of Embedded Systems

Course held by Carlo Concari

E-mail reference professor: carlo.concari@unipr.it

2 CFU

Semester: II

Short Course Description

The aim of the course is to provide the basic notions related to designing embedded hardware and firmware compliant with industrial standards (safety, interoperability, maintainability). Course contents:

Embedded hardware for compliant systems (1 hr)

Structured approach to firmware design (1 hr)

Implementation: the building system (1 hr)

Software testing and documentation (1 hr)

Version control systems (1 hr)

Safety standards (1 hr)

Coding standards (1 hr)

Real-time computing (2 hr)

Watchdogs (1 hr)

Bootloaders (1 hr)

Model-based design (1 hr)

Title: Introduction to Convex Optimization

Course held by Prof. Marco Locatelli

E-mail reference professor: marco.locatelli@unipr.it

1.5 CFU

Semester: second

Short Course Description

- Convex sets and convex cones
- Cones of nonnegative, semidefinite and copositive matrices
- Convex functions: different definitions and operations preserving convexity
- Convex optimization problems. Equivalence between local and global minimizers. Examples.
- Optimality conditions: unconstrained and constrained case (KKT conditions)
- Lagrangian duality: weak and strong duality
- Convex envelopes

- *Interior-point methods and barrier functions: complexity of convex optimization problems*
- *Some applications*
- *How to use existing solvers*

Title: Methods of Probabilistic Robotics

Course held by Prof. Dario Lodi Rizzini

E-mail reference professor: dario.lodirizzini@unipr.it

2 CFU

Semester: Second

Short program:

The goal of this course is to provide an overview of the concepts of probabilistic robotics and of the main localization and mapping methods. Practical demonstrations with software tools used by research community will support the exposition. The main program is organized as follows: definitions and estimation methods, localization and mapping problems, data association, and sensor registration.

1. Representation of Uncertainty

- *Motivation and examples*
- *Probability density functions, function of random variables, normal distribution*
- *Propagation of uncertainty*

2. Bayesian filters

- *State estimation for localization and mapping*
- *ML and MAP criteria*
- *Parametric filters: Kalman filters, EKF, UKF (hints)*
- *Derivation of KF*
- *EKF for localization and SLAM*

3. Graphical models

- *Full SLAM problem: derivation*
- *Least-square SLAM*
- *Models for graphical formulation: landmark-based, pose graph, perturbation operator*
- *Practical: graphical SLAM backend g2o*

4. Localization and Mapping Issues

- *Map models: landmarks, occupancy grid maps*
- *Data association methods: NN, JCBB, correspondence graphs*
- *Practical: data association*

Title: Quantum Algorithms and Quantum Compiling

Course held by Prof. Michele Amoretti and Dr. Davide Ferrari

E-mail reference professors: michele.amoretti@unipr.it, davide.ferrari1@unipr.it

4 CFU

Semester: second

Course Description

This course will present quantum computing from a computer engineering perspective. The first part will recap the basic concepts of quantum mechanics and quantum information. The second part will focus on quantum algorithms and quantum compilers, considering the case of a single quantum processor as well as the more challenging scenario of distributed quantum computing. Practical experiences will be proposed, introducing the student to software libraries for programming quantum devices.

Short program:

[Michele Amoretti, 6 hours]

- 1. Introduction to quantum computing*
- 2. Linear algebra (a refresher)*
- 3. Postulates of quantum mechanics*
- 4. Quantum information*

[Davide Ferrari, 18 hours]

- 5. Quantum gates and basic quantum circuits*
- 6. Quantum algorithms: design techniques*
- 7. Grover, QFT, VQA and other major quantum algorithms*
- 8. Quantum compiling on single node*
- 9. Quantum networking and Quantum Internet*
- 10. Distributed Quantum Computing*

Title: Virtual constraints for mechanical systems

Course held by Luca Consolini (also via Teams)

E-mail reference professor: luca.consolini@unipr.it

1 CFU

Semester: second

Short Course Description:

A virtual holonomic constraint (VHC) for a mechanical system with configuration vector q is a relation of the form $h(q)=0$ that can be made invariant via feedback. In the past decade, VHCs have emerged as a valuable tool to solve various motion control problems.

The presentation will be focused on the challenging case of underactuated systems, in which the enforcement of the VHC requires appropriate feasibility

conditions. These conditions are satisfied if the constraint function h is obtained as the solution of a differential equation, named virtual constraints generator.

The presentation includes some results on **the energy regulation of VHCs** and presents some applications to the control of the pendubot, the PVTOL aircraft, the bicycle, the spherical pendulum, and the synchronization of mechanical systems.

Title: Statistical bases of Machine Learning

Course held by Prof. A. Bononi

E-mail reference professor: alberto.bononi@unipr.it

4 CFU

Semester: first

Short program:

Course covers

- 1) a review of probability and the Bayesian statistical analysis underlying ML (regression, classification)
- 2) extensions to generalized linear models as a basis to neural networks and other kernel-based methods.
- 3) supervised learning for both regression and classification.

Details can be found at:
http://www.tlc.unipr.it/bononi/didattica/ML_PhD/ML_PhD.html

Title: Introduction to Model-Based Design for dynamic systems

Course held by Prof. Alessandro Soldati

E-mail reference professor: alessandro.soldati@unipr.it

3 CFU

Semester: Second

This course gives an introduction on the numerical modeling of dynamic systems, as a prerequisite for their accurate design and to develop control algorithms, when needed. Both physics-based and data-based models are covered, as well as several model validation techniques, as needed by the good practices of Model-Based Design in the V-model workflow for safety-critical systems.

Short program:

- Abstraction levels, system partitioning and the V-model

- Unit testing, static code analysis and automatic test-benches and documentation
- Numerical analysis for real-time computation
- Numerical analysis for the simulation of dynamic systems
- Numerical techniques for experimental data processing and acquisition
- MIL, SIL, PIL and HIL validation techniques

Title: Reliability of Power Electronic Circuits

Course held by Prof. Alessandro Soldati

E-mail reference professor: alessandro.soldati@unipr.it

3 CFU

Semester: Second

Short program:

- Design-for-Reliability in power electronics (2 h)
- Lifetime models for power system components (2 h)
- Simulation workflow for reliability prediction [tutorial] (2 h)
- Gate drivers for power electronics devices (2 h)
- Active gate drivers for wide bandgap devices (2 h)
- Active thermal control of power electronics (2 h)
- Faults in power electronics (2 h)
- Power electronics diagnostics (2 h)
- Condition monitoring (2 h)
- Advanced sensing and logging for power system control and reliability (2 h)
- Counting techniques (2 h)
- Design of advanced sensing and driving circuits for power electronics [tutorial] (2 h)

Title: Elements of thermography and thermal imaging

Course held by Prof. A. Soldati, F. Bozzoli, L. Cattani (in collaboration with the PhD in Industrial Engineering)

E-mail reference professor: alessandro.soldati@unipr.it

2 CFUs: (8 lectures, 2h each)

Semester: second (June-July)

This course gives the fundamentals of quantitative thermography, i.e., the use of thermal imagers (special cameras sensitive to infrared radiation) to quantitatively measure temperatures without contact and possibly from "long" distances. The applications range from Power Electronics to Heat Transport, from building analysis to diagnostics and prognostics.

Short program:

- 1. Introduction to thermography (Bozzoli/Cattani)*
- 2. Temperature measurement properties and contact sensors (Soldati)*
- 3. Principles of thermal imaging (Bozzoli/Cattani)*
- 4. Thermal imagers: calibration, compensation, environmental effects (Soldati)*
- 5. Thermography applications in Power Electronics (Soldati)*
- 6. Thermography applications in Heat Transfer (Bozzoli/Cattani)*
- 7. Postprocessing of radiometric data (Soldati/Cattani)*
- 8. Hands-on: thermal cameras in action! (Soldati)*