

## Ph.D. in Information and Communication Technologies – ICT

Ph.D. Course:

# “Analytical Techniques for Wave Phenomena”

Edition 2019 (30 hours, 6 credits)

### Class Objectives

The course aims at providing Ph.D. students with analytical tools useful in applied research on general wave phenomena. The unifying theme is that of complex analysis, of which a compact, self-contained introduction is presented. Fundamental techniques asymptotic techniques are then illustrated, including ray optics and the Laplace and saddle-point methods for the asymptotic evaluation of integrals. Applications are focused on the analysis of both time-harmonic and transient waves excited in planar layered structures by canonical sources. As concerns the former, different wave species will be defined and physically discussed (space, surface, leaky, lateral waves). As concerns the latter, the Cagniard-de Hoop method will be introduced.

### Class Schedule

The course will be held **from 1 to 31 October 2019** in the **seminar room** at the second floor of the DIET department, Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy, with the following schedule:

Tuesday 10:00-13:00

Thursday 10:00-13:00

### Syllabus

#### 1. Fundamentals of complex function theory

- 1.1 *Elementary holomorphic functions, Cauchy-Riemann equations, elementary Riemann surfaces*
- 1.2 *Complex integration, Cauchy theorem and consequences, residue calculus*

#### 2. Asymptotic expansions and ray optics

- 2.1 *Introduction, asymptotic sequences, and elementary examples*
- 2.2 *The Luneburg-Kline asymptotic expansion; ray optics.*

#### 3. Asymptotic evaluation of integrals

- 3.1 *Integration by parts, Watson lemma, Laplace method, stationary-phase method*
- 3.2 *The method of steepest descents (saddle-point method)*

#### 4. Applications: Time-harmonic waves in layered media

4.1 *Line source above a single interface: space waves, lateral waves, plasmon waves, Zenneck waves*

4.2 *Line source above a grounded slab: surface waves, leaky waves*

#### 5. Applications: Transient waves in layered media

5.1 *Causality and the Kramers-Kronig relation*

5.2 *The Cagniard-de Hoop method: line and point sources in free space and above a single interface*

### Final Examination

Discussion of a scientific paper related to the course.

### Learning and teaching support materials

Class slides.

### Teacher

**Paolo Burghignoli** is an Associate Professor of *Electromagnetic Fields* with Sapienza University of Rome. His scientific interests include a variety of topics in the areas of electromagnetic theory, antennas, and numerical methods for passive electromagnetic structures. The principal focus is on leaky waves in uniform and periodic structures, leaky-wave antennas and arrays, numerical methods for integral equations and periodic structures, propagation and radiation in metamaterials, and graphene electromagnetics.

## Ph.D. in Information and Communication Technologies – ICT

Ph.D. Course:

# “Analytical Techniques for Wave Phenomena”

Edition 2019 (30 hours, 6 credits)

### Obiettivi del corso

Il corso si propone di fornire agli studenti di dottorato strumenti analitici utili per la ricerca applicata su fenomeni ondosi di varia natura. Il tema unificante è quello dell’analisi complessa, di cui viene presentata un’introduzione compatta e autonoma. Vengono quindi illustrate tecniche asintotiche fondamentali tra cui l’ottica geometrica e la valutazione asintotica degli integrali con il metodo di Laplace e del punto di sella. Le applicazioni sono dedicate all’analisi di strutture planari eccitate da sorgenti elementari in regime armonico o transitorio. Per quanto concerne il primo, verranno definite e discusse fisicamente le principali classi di onde eccitate (spaziali, superficiali, leaky, laterali). Per quanto concerne il secondo, verrà introdotto il metodo di Cagniard-de Hoop.

### Date e orario

Il corso verrà tenuto **dal 1 al 31 ottobre 2019** nell’**aula seminari** al secondo piano del dipartimento DIET, Via Eudossiana 18, 00184 Roma, secondo il seguente orario:

Martedì 10:00-13:00

Giovedì 10:00-13:00

### Programma

#### 1. Introduzione all’analisi complessa

1.1 *Funzioni olomorfe elementari, equazioni di Cauchy-Riemann, introduzione alle superfici di Riemann*

1.2 *Integrazione complessa, teorema di Cauchy e conseguenze, calcolo dei residui*

#### 2. Rappresentazioni asintotiche e ottica geometrica

2.1 *Introduzione, sequenze asintotiche ed esempi elementari*

2.2 *Serie asintotica di Luneburg-Kline e ottica geometrica*

#### 3. Valutazione asintotica di integrali

3.1 *Integrazione per parti, lemma di Watson, metodo di Laplace, metodo della fase stazionaria*

3.2 *Il metodo del punto di sella*

#### 4. Applicazioni: onde in regime armonico in mezzi stratificati

4.1 Sorgente lineare su singola interfaccia: onde spaziali, laterali, plasmoniche, di Zenneck

4.2 Sorgente lineare su strato dielettrico con piano di massa: onde superficiali e leaky

#### 5. Applicazioni: onde in regime transitorio in mezzi stratificati

5.1 Causalità e relazioni di Kramers-Kronig

5.2 Il metodo di Cagniard-de Hoop: sorgenti lineari e puntiformi in spazio libero e su singola interfaccia

### Esame finale

Discussione di un articolo scientifico correlato ai contenuti del corso.

### Materiale didattico

Slide delle lezioni.

### Docente

**Paolo Burghignoli** è professore associato di *Campi elettromagnetici* presso Sapienza Università di Roma. I suoi interessi scientifici abbracciano diversi argomenti nell'ambito della teoria elettromagnetica, delle antenne e dei metodi numerici per strutture elettromagnetiche passive. I temi principali sono: onde leaky in strutture uniformi e periodiche, antenne e array di antenne a onda leaky, metodi numerici per equazioni integrali e strutture periodiche, propagazione e radiazione in metamateriali e grafene.