



# UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2017/2018

## AZIONAMENTI ELETTRICI INDUSTRIALI PER ENERGETICI

Anno immatricolazione	2016/2017
Anno offerta	2017/2018
Normativa	DM270
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
Corso di studio	INGEGNERIA ELETTRICA
Curriculum	Energetica
Anno di corso	2°
Periodo didattico	Annualità Singola (02/10/2017 - 15/06/2018)
Crediti	12
Lingua insegnamento	Italiano

### L'insegnamento è suddiviso

503132 - AZIONAMENTI ELETTRICI INDUSTRIALI A

506569 - AZIONAMENTI ELETTRICI INDUSTRIALI PER ENERGETICI B



### AZIONAMENTI ELETTRICI INDUSTRIALI A

<b>Anno immatricolazione</b>	2016/2017
<b>Anno offerta</b>	2017/2018
<b>Normativa</b>	DM270
<b>SSD</b>	ING-IND/32 (CONVERTITORI, MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI)
<b>Dipartimento</b>	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
<b>Corso di studio</b>	INGEGNERIA ELETTRICA
<b>Curriculum</b>	Energetica
<b>Anno di corso</b>	2°
<b>Periodo didattico</b>	Primo Semestre (02/10/2017 - 19/01/2018)
<b>Crediti</b>	6
<b>Ore</b>	55 ore di attività frontale
<b>Lingua insegnamento</b>	English
<b>Tipo esame</b>	SCRITTO E ORALE CONGIUNTI
<b>Docente</b>	BASSI EZIO (titolare) - 11 CFU SZABO LORAND - 1 CFU
<b>Prerequisiti</b>	Principles of electrical engineering and mechanics, analysis of periodic waveforms, vector diagrams, basic elements of electrical machines and power electronics.
<b>Obiettivi formativi</b>	The course outlines in its first half the basic concepts about functional characteristics, design and applications of electrical variable speed drives at steady state, with a few hints on their control and transient behavior. In the second part are addressed items concerning the dynamical behavior of electrical drives: various regulation schemes are introduced, principally with induction and brushless motors, with different solutions as to the controlled variables and the regulation algorithms.



This course is attended by the students of the second year of the Laurea Magistrale degree in both Ingegneria Elettrica and in Industrial Automation Engineering.

In the academic year 2017/18 a series of lectures (12 hours, 1 cfu, January 2018) will be given by Prof. L. Szabo, University of Cluj-Napoca (Romania) about "Special Electrical Machines"

In the following are resumed the main topics of this course (the list is not in chronological order, but grouped according to the argument).

#### Inverter-fed Induction machine

Dynamic model of the IM and instantaneous torque; different reference system and transformation matrices; vector representation of three-phase variables; Field Oriented Control: direct and indirect implementation, reconstruction of flux and torque variables, field weakening operation.

Doubly Fed Induction Machine: rotor current limit and torque control.

Direct Torque Control: selection of the inverter configuration & modulation strategies; Direct Self Control: hexagonal stator flux path.

#### A.C. current control

Control of the currents of a three-phase system (i.e. motor) in different reference systems (abc,  $\alpha\beta$ , dq); PI regulators; Hysteresis regulators; predictive control; compensation of dq coupling terms.

Control of an Induction machine fed from Current Source Inverter.

#### Space Vector PWM and a.c. current control

Inverter configurations, voltage reference and basic principles of the method, limit voltage exagon and overmodulation, optimal sequence of inverter states, switching frequency and current ripple; effect of dead-times and common mode voltage.

Active Front-End Converter: block diagram and basic operation.

Open- and closed-loop control; current control on different reference frames with linear (PI) and hysteresis regulators, voltage saturation, decoupled current control.

#### Brushless Drives

Use of Permanent magnets, different types of rotor design and rotor saliency, electromagnetic force induced on the stator windings (d.c. and a.c. BL), effect of saliency on torque; cogging; regulation schemes; steady-state operation and geometrical loci in the field-weakening region.

BL with trapezoidal cemf: current waveforms and torque ripple.



Lectures (hours/year in lecture theatre): 62

Practical class (hours/year in lecture theatre): 48

Practicals / Workshops /Seminars (hours/year in lecture theatre): 4



In the following a list of textbooks related to ED is presented. Additional material (notes, links, papers and so on) will be given during lectures. Please refer to KIRO Portal.

Legnani, Tiboni, Adamini. Meccanica degli Azionamenti vol. 1 - Azionamenti Elettrici. Progetto Leonardo, Bologna, 2002.

W. Leonhard. Control of Electrical Drives. Springer Verlag, 1998.

Bimal K. Bose. Power Electronics and Variable Frequency Drives. Technology and Applications. IEEE Press, 1997.

Mohan, Undeland, Robbins. Elettronica di potenza. Convertitori e applicazioni. Hoepli, Milano, 2005.

Murphy, Turnbull. A.C. current control. Pergamon Press, 1988.

L. Bonometti. Convertitori di potenza e servomotori brushless. UTET 2001.





Oral exam during which the students can be required to solve a simple written exercise on the very basic contents of the course. A written relation on specific subjects and the interest displayed during the lectures can also contribute to the evaluation



Obiettivi Agenda 2030 per lo  
sviluppo sostenibile

[\\$bl legenda sviluppo sostenibile](#)



# UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2017/2018

## AZIONAMENTI ELETTRICI INDUSTRIALI PER ENERGETICI B

<b>Anno immatricolazione</b>	2016/2017
<b>Anno offerta</b>	2017/2018
<b>Normativa</b>	DM270
<b>SSD</b>	ING-IND/32 (CONVERTITORI, MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI)
<b>Dipartimento</b>	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
<b>Corso di studio</b>	INGEGNERIA ELETTRICA
<b>Curriculum</b>	Energetica
<b>Anno di corso</b>	2°
<b>Periodo didattico</b>	Annualità Singola (02/10/2017 - 15/06/2018)
<b>Crediti</b>	6
<b>Ore</b>	45 ore di attività frontale
<b>Lingua insegnamento</b>	Italiano
<b>Tipo esame</b>	SCRITTO E ORALE CONGIUNTI
<b>Docente</b>	BASSI EZIO (titolare) - 3 CFU ANGLANI NORMA - 3 CFU
<b>Prerequisiti</b>	Integrazione di semplici equazioni differenziali; Scomposizione in armoniche di una forma d'onda periodica; Uso di diagrammi vettoriali; Cenni sul funzionamento a regime delle macchine elettriche, sulle valvole di potenza a semiconduttore e sui convertitori statici.
<b>Obiettivi formativi</b>	Il corso mira ad approfondire nella prima parte alcuni concetti relativi al comportamento in regime dinamico delle macchine elettriche, in particolare macchine a induzione e motori brushless, alimentate da convertitori statici, all'operazione degli inverter a frequenza variabile, agli schemi regolazione con controllo di coppia e di velocità. Nel corso delle lezioni vengono sottolineati gli aspetti legati al risparmio energetico e si accenna alle applicazioni con carichi fluidodinamici.



Gli studenti elettrici del percorso energetico seguono complessivamente i primi 9 cfu delle lezioni dell'insegnamento di Azionamenti Elettrici Industriali-Electrical Drives for Industry Applications (12 cfu, prof. Bassi). Di questi, i primi 6 cfu coincidono con il modulo A di Azionamenti Elettrici per Energetici, mentre il modulo B è costituito da ulteriori 3 cfu mutuati dal corso sopra citato (Bassi) e da 3 cfu a carattere più strettamente energetico (Anglani). In queste note vengono quindi ripresi alcuni degli argomenti del corso da 12 cfu, di seguito sommariamente indicati.

Azionamenti con motore a induzione alimentati da inverter  
Equazioni del motore valide in regime comunque variabile: esempi di simulazione; cambio del sistema di riferimento e trasformazioni di Park; rappresentazione vettoriale di grandezze trifasi; Orientamento di Campo (Controllo Vettoriale): principio operativo, controllo diretto e indiretto; funzionamento in deflussaggio. Risparmio energetico conseguente al funzionamento a velocità variabile.

Inverter trifase: configurazioni attive e nulle, modulazione con l'utilizzo di vettori di tensione (Space Vector Modulation); esagono limite, scelta della sequenza delle configurazioni; distorsione della tensione dovuta ai tempi morti; tensione di modo comune.

Regolazione e dinamica degli azionamenti elettrici  
Caratteristiche e modelli delle macchine in regime comunque variabile, funzioni di trasferimento, stabilità del funzionamento; regolazione ad anello aperto e chiuso, controllo di corrente: sistemi di riferimento fisso e rotante, controllo ad isteresi e con regolatori PI, disaccoppiamento nel controllo delle componenti di corrente, controllo predittivo. Regolazione di velocità e di posizione negli azionamenti; schemi di regolazione in cascata e cenni ad altri metodi di controllo. Azionamenti con macchine in corrente continua.

#### Macchine Brushless

Motori sincroni a magneti permanenti sul rotore (brushless): cenni costruttivi, tipi di magneti e loro disposizione, forze elettromotrici indotte ad andamento trapezio e sinusoidale; macchine isotrope e anisotrope; espressione della coppia e cogging; circuiti di comando e schemi di regolazione; caratteristiche di coppia degli azionamenti con macchine brushless.

Applicazioni nell'ambito del servizio aria compressa (3 CFU Anglani)  
Richiamo alla conoscenza di base su macchine a fluido (compressori); Introduzione ai CAS; configurazioni e problemi di efficienza energetica di questi sistemi. Modellizzazione e cenno ai controlli. Confronti energetici tra sistemi a velocità fissa e variabile





Lezioni (ore/anno in aula): 30

Esercitazioni (ore/anno in aula): 25

Attività pratiche /Seminari (ore/anno in aula): 4

3 CFU Anglani

Lezioni (ore/anno in aula): 22



Di seguito sono indicati alcuni testi di carattere generale sugli azionamenti elettrici; altro materiale (fotocopie lucidi, appunti, articoli, cataloghi e simili), normalmente sotto forma di link ad indirizzi sul Web, verrà fornito dal docente nel corso delle lezioni.

Legnani, Tiboni, Adamini. Meccanica degli Azionamenti vol. 1 - Azionamenti Elettrici. Progetto Leonardo, Bologna, 2002.

W. Leonhard. Control of Electrical Drives. Springer Verlag, 1998.

Bimal K. Bose. Power Electronics and Variable Frequency Drives. Technology and Applications. IEEE Press, 1997.

Mohan, Undeland, Robbins. Elettronica di potenza. Convertitori e applicazioni. Hoepli, Milano, 2005.

Murphy, Turnbull. A.C. current control. Pergamon Press, 1988.

L. Bonometti. Convertitori di potenza e servomotori brushless. UTET 2001.

Riferimento 3CFU (Anglani):  
il materiale verrà messo a disposizione su KIRO



L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti del corso, che può comprendere un esercizio scritto sui contenuti di base delle lezioni. L'esito di eventuali relazioni su argomenti specifici concordati col docente durante il corso, così come la valutazione dell'interesse manifestato dagli allievi durante le lezioni, concorrerà alla proposta del voto finale.

## Altre informazioni

Obiettivi Agenda 2030 per lo  
sviluppo sostenibile

[\\$bl legenda sviluppo sostenibile](#)