

**MASSIMO LAZZARONI**

**CURRICULUM VITAE**

04 APRILE 2018

PROFESSORE ASSOCIATO CONFERMATO  
PRESSO L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI FISICA  
SSD ING - INF/07 – MISURE ELETTRICHE E ELETTRONICHE  
SETTORE CONCORSUALE: 09/E4 - MISURE

- Ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Milano il 22 febbraio 1993, discutendo la tesi: “*Analisi sperimentale e progettuale per il miglioramento delle caratteristiche di elaborazione di un sensore tattile*” (relatore Prof. Arnaldo Brandolini).
- Ha conseguito l’abilitazione all’esercizio della professione di Ingegnere.
- Partecipa nel 1994 al concorso per l’ammissione al X ciclo dei corsi di dottorato in Ingegneria Elettrotecnica presso il Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano.
- Nel 1998 consegue il titolo di dottore di ricerca in Ingegneria Elettrotecnica, sottosettore di Misure Elettriche, presso il Politecnico di Milano discutendo la tesi dal titolo “*Proposte per la realizzazione di un nuovo sistema di misura delle scariche parziali ricorrenti*” (25 maggio 1998).
- Ha collaborato e collabora, ricoprendo diversi ruoli, all’organizzazione di diversi corsi, giornate di studio, convegni nazionali e internazionali.
- Dal 1° Marzo 2001 al 29 Dicembre 2002 è stato ricercatore universitario di ruolo presso il Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano – SSD ING-INF /07 – MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE.
- Dal 30 Dicembre 2002 è professore associato presso il Dipartimento di Tecnologie informatiche dell’Università degli Studi di Milano – SSD ING-INF /07 – MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE (D.R. n. 1651 del 19/12/2002).
- Dal 30 Dicembre 2005 al 26 Aprile 2012 è Professore Associato confermato presso il Dipartimento di Tecnologie informatiche dell’Università degli Studi di Milano – SSD ING-INF /07 – MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE.
- Dal 27 Aprile 2012 è Professore Associato confermato presso il Dipartimento di Fisica dell’Università degli Studi di Milano – SSD ING-INF /07 – MISURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE.
- Dal 01 Gennaio 2013 è associato INFN – Sez. di Milano (<http://www.infn.it/index.php?lang=it>).
- Dal 23 Aprile 2013 è inserito nell’ “Elenco Idonei Esperti della Valutazione Profilo Esperti Disciplinari” dell’ANVUR ([http://www.anvur.org/sites/anvur-miur/files/bandi/elencoidoneialboespertidisciplinari\\_anvur\\_230413.pdf](http://www.anvur.org/sites/anvur-miur/files/bandi/elencoidoneialboespertidisciplinari_anvur_230413.pdf) e [http://www.anvur.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=475&Itemid=490&lang=it](http://www.anvur.org/index.php?option=com_content&view=article&id=475&Itemid=490&lang=it)).
- Partecipante all’esperimento LHCb del CERN (dal 01-07-2013) - <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>
- Partecipante all’esperimento ATLAS del CERN (dal 14-01-2014)
- Da settembre 2015 è associato a INFN – Sez. di Milano con Incarico di Ricerca Scientifica.
- Dal 15/11/2015 è Author dell’esperimento ATLAS al CERN.
- Referente AQ per il Dipartimento di Fisica in seno al Presidio Qualità di Ateneo (verbale del Consiglio di Dipartimento del 19/04/2017).
-

## PROFILI E RIFERIMENTI INTERNET

### PERSONAL WEB PAGE

Ulteriori informazioni sono presenti nella pagina web personale:

<http://www2.fisica.unimi.it/lazzaroni/>

### LINK BIBLIOMETRICI

**SCOPUS ID: 7006631262**

Link: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006631262>

**ResearcherID: N-3675-2015**

Link:

[http://www.researcherid.com/ProfileView.action?SID=S2LEkk6zSkUXmOiFwgS&returnCode=ROU  
TER.Success&queryString=KG0UuZjN5WmZHspRH8Tb5Dm1aqmoBLOqfHcIjh0KDQ4%253D&Sr  
cApp=CR&Init=Yes](http://www.researcherid.com/ProfileView.action?SID=S2LEkk6zSkUXmOiFwgS&returnCode=ROU<br/>TER.Success&queryString=KG0UuZjN5WmZHspRH8Tb5Dm1aqmoBLOqfHcIjh0KDQ4%253D&Sr<br/>cApp=CR&Init=Yes)

**InspireHep: Massimo.Lazzaroni.1**

Link: <http://inspirehep.net/author/profile/Massimo.Lazzaroni.1>

**ORCID ID: 0000-0002-4094-1273**

Link: <http://orcid.org/0000-0002-4094-1273>

**GOOGLE SCHOLAR: 71BMXRUAAAAJ&HL**

<HTTPS://SCHOLAR.GOOGLE.IT/CITATIONS?USER=71BMXRUAAAAJ&HL=IT>

## ATTIVITÀ DIDATTICA

### *Presso il Politecnico di Milano (1998 – 2002)*

#### *Lezioni*

1. Nell'Anno Accademico 1998/1999 il prof. Massimo Lazzaroni, in qualità di professore a contratto, ha tenuto il corso di ***Elettrotecnica e Elettronica applicata*** per gli allievi del Diploma in Ingegneria Aerospaziale – Facoltà di Ingegneria Milano Bovisa – Politecnico di Milano;
2. Nell'Anno Accademico 1999/2000 il prof. Massimo Lazzaroni, in qualità di professore a contratto, ha tenuto il corso di ***Elettrotecnica e Elettronica applicata*** per gli allievi del Diploma in Ingegneria Logistica e della Produzione – Facoltà di Ingegneria Lecco – Politecnico di Milano;
3. Nell'Anno Accademico 2000/2001 il prof. Massimo Lazzaroni ha tenuto il corso di ***Elettrotecnica*** per gli allievi del Corso di Laurea in Ingegneria della Facoltà di Como – Facoltà di Ingegneria Como – Politecnico di Milano.

#### *Esercitazioni numeriche e di laboratorio*

1. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Elettrotecnica*** – Corso per allievi in Ingegneria Meccanica;
2. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Elettrotecnica*** – Corso per allievi del D.U. in Ingegneria Elettrica;
3. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Elettrotecnica ed Elettronica Applicata*** - Corso integrato per allievi del Diploma Universitario in Ingegneria Aerospaziale;
4. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Principi di Ingegneria Elettrica*** - Corso per allievi in Ingegneria Gestionale;
5. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Misure elettriche e Strumentazione elettronica di Misura*** – Corso integrato per allievi del Diploma Universitario in Ingegneria Elettrica;
6. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Misure elettriche e Strumentazione elettronica di Misura*** – Insegnamento integrato per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica A.A. 2000/2001;
7. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Fondamenti della Misurazione*** – Corso per allievi della Laurea in Ingegneria Elettrica A.A. 2000/2001;
8. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Misure elettriche e Strumentazione elettronica di Misura*** – Corso integrato per allievi della Laurea in Ingegneria Elettrica A.A. 2001/2002;
9. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Fondamenti della Misurazione*** – Corso per allievi della Laurea in Ingegneria Elettrica A.A. 2001/2002;
10. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Principi di Ingegneria Elettrica*** – Corso per allievi della Laurea in Ingegneria Gestionale A.A. 2001/2002;
11. Esercitazioni nell'ambito del corso di ***Strumentazione Elettronica*** – Corso per allievi della Laurea in Ingegneria Elettrica A.A. 2001/2002;
12. Esercitazioni numeriche e sperimentali del corso di ***Elaborazione di Segnali e di informazioni di misura*** – Corso per Allievi del Corso di Laurea di Ingegneria Elettrica A.A. 1999-2002.

Si segnalano inoltre le seguenti attività in ambito didattico:

- Assistenza per lo svolgimento di tesi di laurea, assistenza didattica e membro e/o presidente della commissione di esame dei corsi di Misure Elettriche, Misure Elettroniche, Strumentazione Elettronica di Misura, Misure Elettriche I, Elaborazione dei Segnali e di Informazioni di Misura, Elettrotecnica, Principi di Ingegneria Elettrica, Elettronica applicata.
- È coautore di alcuni volumi didattici espressamente pensati per i corsi e per le esercitazioni svolte.

### ***Presso l'Università degli Studi di Milano (dall'anno accademico 2002- 2003)***

#### **Corsi tenuti per compito istituzionale**

Ha svolto le seguenti attività didattiche istituzionali presso l'Università degli Studi di Milano:

Anno Accademico 2002 - 2003

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

Anno Accademico 2003 - 2004

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Fondamenti di automatica* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

Anno Accademico 2004 - 2005

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Fondamenti di automatica* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

*Elaborazione Numerica dei Segnali* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Misure per le Tecnologie dell'Informazione* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

Anno Accademico 2005 – 2006

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Fondamenti di automatica* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

*Elaborazione Numerica dei Segnali* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Misure per le Tecnologie dell'Informazione* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

#### Anno Accademico 2006 - 2007

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Fondamenti di automatica* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

*Elaborazione Numerica dei Segnali* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Misure per le Tecnologie dell'Informazione* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

#### Anno Accademico 2007 - 2008

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Fondamenti di automatica* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione

*Elaborazione Numerica dei Segnali* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Misure per le Tecnologie dell'Informazione* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

Anno Accademico 2008 - 2009

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Controlli Automatici* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Misure per le Tecnologie dell'Informazione* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

Anno Accademico 2009 - 2010

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Controlli Automatici* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Tecnologie per la Società dell'Informazione  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

Anno Accademico 2010 - 2011

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica  
Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Controlli Automatici* (5 c.f.u.) - SSD: ING-INF/04

Corsi di Laurea:

Informatica  
Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

### Anno Accademico 2011 - 2012

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Automazione e Misure Industriali* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica

### Anno Accademico 2012 - 2013

*Tecnologie Informatiche per la Qualità* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Automazione e Misure Industriali* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica

### Anno Accademico 2013 - 2014

*Automazione e Misure Industriali* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:



## Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01, 42 ore di laboratorio e 12 di lezione.

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica

### Anno Accademico 2014 - 2015

*Automazione e Misure Industriali* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01, 42 ore di laboratorio e 12 di lezione.

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica

### Anno Accademico 2015 - 2016

*Automazione e Misure Industriali* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Informatica

Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie dell'Informazione

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01, 42 ore di laboratorio e 12 di lezione.

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica

### Anno Accademico 2016 - 2017

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01, 42 ore di laboratorio e 12 di lezione.

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica (ancora da erogare, II semestre)

*Misure Elettriche ed Elettroniche* (modulo del corso di Scienze Matematiche e Fisiche Naturali), - (2 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corso di Laurea:

Tecniche Ortopediche.

### Anno Accademico 2017 - 2018

*Affidabilità dei Sistemi (Dependability)* (6 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corsi di Laurea:

Sicurezza dei Sistemi e delle Reti Informatiche

*Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna*, (F63-11), (F63-11.12.3) CORSO C, Turno 2 - SSD: FIS/01, 42 ore di laboratorio e 12 di lezione.

Corsi di Laurea:

Laurea in Fisica (ancora da erogare, II semestre)

*Misure Elettriche ed Elettroniche* (modulo del corso di Scienze Matematiche e Fisiche Naturali), - (2 c.f.u.) - SSD: ING-INF/07

Corso di Laurea:

Tecniche Ortopediche.

### **Dottorato di Ricerca in Informatica**

Dal 2003 al 2013

Membro del Collegio dei Docenti del Dottorato in Informatica.

SEDE AMMINISTRATIVA

Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Informatica

<http://www.di.unimi.it/>

Via Comelico, 39/41

20135 - Milano

SEDI

**Università degli Studi di Milano** - Dipartimento di Informatica

<http://www.di.unimi.it/>

Sede di Milano

Via Comelico, 39/41

20135 - Milano

Sede di Crema

Via Bramante, 65

26013 - Crema (CR)

SEDI CONSORZIATE

**Università degli Studi di Messina** – Dipartimento di Fisica

<http://ww2.unime.it/dipfisica>

Via Salita Sperone, 31

98166 - Messina

**Università degli Studi di Napoli "Parthenope"** – Dipartimento di Scienze Applicate

<http://dsa.uniparthenope.it/>

Centro Direzionale, Isola C4

80134 - Napoli

Sito web del Dipartimento di Informatica relativo al Dottorato di ricerca:

<http://www.di.unimi.it/ecm/home/didattica/scuola-di-dottorato>

Sito web del Dottorato di ricerca:

<http://turing.crema.unimi.it/ScuolaDottorato/>

Sito web del Collegio dei Docenti:

[http://turing.crema.unimi.it/ScuolaDottorato/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5&Itemid=84](http://turing.crema.unimi.it/ScuolaDottorato/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=84)

### **Dottorato di Ricerca in Fisica, Astrofisica e Fisica Applicata**

#### Dall'anno accademico 2013 al 2014

Membro del Collegio dei docenti del Dottorato in FISICA, ASTROFISICA E FISICA APPLICATA (dal 05/09/2013).

Membro della Commissione di Esame finale per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca per le Università degli Studi di Padova, Firenze (2011) e Politecnico di Milano (2009).

Corsi tenuti nell'ambito del dottorato di ricerca di Informatica:

#### *Fondamenti di elaborazione del segnale mono-dimensionale*

Docenti: Prof. Vincenzo Piuri, Prof. Stefano Ferrari, **Prof. Massimo Lazzaroni**, Prof.ssa Rita Pizzi, Prof. Roberto Sassi, Prof. Fabio Scotti

24 ore periodo marzo - maggio 2010

Impegno didattico personale: 6 ore

#### *Elaborazione di immagini multi-dimensionali*

Docenti: Prof. Vincenzo Piuri, Prof. Stefano Ferrari, **Prof. Massimo Lazzaroni**, Prof.ssa Rita Pizzi, Prof. Roberto Sassi, Prof. Fabio Scotti

24 ore periodo gennaio - marzo 2012

Impegno didattico personale: 4 ore

### **Corsi IEEE in inglese**

- Soft Computing for Industrial Automation, per l'International Master in Soft Computing and Applications (IEEE-IMSCIA) - Anno Accademico 2004-2005.
- Soft Computing for Control, per l'International Master in Soft Computing and Applications (IEEE-IMSCIA) - Anno Accademico 2004-2005.

Web Page: <http://ewh.ieee.org/soc/im/imscia/>

See also: <http://ewh.ieee.org/soc/im/imscia/>

### **Altri Corsi**

- Qualità e sviluppo prodotto nell'ambito del Corso Ifts Tecnico Superiore per l'Industrializzazione del Prodotto e del Processo (18 ore – anno 2008);
- Metodi e tecniche di industrializzazione nell'ambito del Corso IFTS Tecnico Superiore per l'Industrializzazione del Prodotto e del Processo (26 ore – anno 2008);
- Gestione del sistema integrato qualità, ambiente e sicurezza nell'ambito del Corso IFTS Tecnico Superiore per l'Industrializzazione del Prodotto e del Processo (27 ore – anno 2008);

## ATTIVITÀ SCIENTIFICA

L'attività scientifica svolta dal prof. M. Lazzaroni si articola sulle seguenti tematiche:

1. Sviluppo di sensori e trasduttori innovativi e di metodologie innovative per l'ottimizzazione delle loro prestazioni;
2. Metodi di misura delle scariche parziali e dello stato di invecchiamento dei materiali isolanti;
3. Sviluppo di algoritmi per la gestione dei sistemi di misura complessi e dei metodi per la loro caratterizzazione metrologica;
4. Misure per l'automazione industriale;
5. Misure per l'ambiente.
6. Nuove metodologie diagnostiche a supporto dell'affidabilità, della qualità e del miglioramento delle prestazioni di applicazioni industriali.
7. Misure, strumentazione elettronica e sistemi di alimentazione per gli esperimenti di Fisica delle Particelle.

Su ognuno dei punti precedenti si fornisce una breve descrizione dell'attività svolta, atta ad evidenziare il contributo dato e i risultati ottenuti nelle applicazioni considerate.

### **1) Sviluppo di sensori e trasduttori innovativi e di metodologie innovative per l'ottimizzazione delle loro prestazioni.**

I sistemi di automazione attualmente impiegati nel controllo dei processi industriali si stanno sempre più orientando verso un uso massiccio delle metodologie proprie dell'intelligenza artificiale, in tutti i livelli gerarchici del sistema di automazione.

I sensori e i trasduttori, per la loro importanza di interfaccia verso il campo, costituiscono un elemento critico dell'intero sistema, sia perché devono garantire adeguate prestazioni metrologiche, sia perché devono integrarsi in una struttura distribuita di elaborazione dell'informazione.

In particolare, lo studio si è incentrato inizialmente sui sensori piezoelettrici, utilizzando come elemento sensibile il PVDF e in cui il processo di elaborazione avviene attraverso l'integrazione della carica prodotta dal materiale sensibile.

L'attività di ricerca svolta in questo campo si configura, quindi, per sua stessa natura, come attività fortemente interdisciplinare che ha visto il Prof. M. Lazzaroni impegnato nei seguenti campi:

- a) Valutazione del principio di funzionamento onde verificare se e in che grado è possibile agire su fattori tecnologici allo scopo di migliorare l'accuratezza della misura; appartengono a questa fase i lavori prettamente tecnologici [4] in cui si cerca di dare un contributo sia tecnico/costruttivo al miglioramento delle caratteristiche del sensore sia all'introduzione di metodi di misura volti alla verifica delle caratteristiche metrologiche del sensore.

In [4] le problematiche sollevate dall'innovativa tecnologia *MCM (Multichip Module)* sono affrontate anche da un punto di vista più generale, proponendo, alla luce delle esperienze maturate, alcuni contributi di tipo funzionale e metodologico, relativi al processo di standardizzazione.

In particolare sono descritte le metodologie di prova utilizzate per i sensori del tipo MCM. Dopo aver illustrato le metodologie e gli standard in uso per la verifica automatica delle funzioni dei sensori, si è ipotizzata l'introduzione di una nuova procedura di misura. Infatti, nei casi in cui le caratteristiche metrologiche dei dispositivi assumono importanza primaria (e quindi sempre nel caso dei sensori), è necessario aggiungere alle procedure di test tradizionali altre che considerano e verificano gli aspetti metrologici.

In particolare sono state proposte quattro nuove procedure di misura:

Static performance test: in cui si verificano le caratteristiche metrologiche dell'elettronica prima che venga assemblato l'elemento sensibile. L'elettronica viene sottoposta ad appropriati segnali d'ingresso che, simulando l'uscita dell'elemento sensibile, consentono la valutazione delle sue prestazioni su tutto il campo di utilizzo secondo le specifiche.

Dynamic Performance Test: in cui l'elettronica è verificata insieme all'elemento sensibile. Una opportuna azione (meccanica, termica, ottica *etc.*) è applicata all'elemento sensibile. Anche in questo caso è necessario verificare l'intero campo della specifica.

Spectral Density Test: che prevede gli stessi passi delle due precedenti procedure ma il segnale di ingresso è ora costituito da una sollecitazione con uno spettro definito. Questo test fornisce una analisi approfondita delle non linearità del sensore, in particolare agli estremi dell'intero campo di funzionamento.

Variational test: in cui si verifica l'influenza della variazione dei parametri dei componenti elettronici sulla risposta del sistema.

Il principale vantaggio delle metodologie di misura proposte sono l'elevata accuratezza nella definizione delle caratteristiche metrologiche del sensore sotto ampie condizioni d'ingresso e funzionamento.

In [10] sono, invece, analizzate le problematiche, sempre nel campo dei sensori ibridi, inerenti l'integrazione della carica generata per effetto piezoelettrico (sensori a PVDF).

L'obiettivo fondamentale della ricerca è il raggiungimento di due requisiti: ottenere un sensore caratterizzato da elevate prestazioni "metrologiche" e, nello stesso tempo, caratterizzato da ridotte dimensioni, tali da permettere la realizzazione di matrici tattili.

La struttura fisica del sensore è stata progettata operando in due direzioni: la minimizzazione degli ingombri e la ricerca di una configurazione di tipo modulare, tale da consentire la realizzazione di matrici sensoriali a geometria variabile. Il prototipo di sensore è stato realizzato in tecnologia microelettronica ibrida e si è rivelato in grado di garantire ottime prestazioni, ingombri ridotti e una migliore integrabilità fisica con i dispositivi di post-elaborazione analogica del segnale prodotto dal sensore.

In questa memoria si è, infatti, ritenuto opportuno proporre una struttura a due blocchi dove il primo blocco è costituito da una struttura analogica bilanciata. Nonostante l'uso di tale struttura comporti un drastico miglioramento nella reiezione di tutti gli effetti indesiderati (effetto piroelettrico, iniezione di carica dagli interruttori di ripristino in tecnologia CMOS, correnti di polarizzazione degli amplificatori operazionali, *etc.*) è stato progettato un secondo blocco con lo scopo di eliminare sia gli effetti legati alla iniezione di carica sia l'effetto delle correnti di ingresso degli amplificatori operazionali. Il circuito prevede l'acquisizione del segnale dovuto ai soli effetti indesiderati. Tale segnale è, infine, sottratto al segnale complessivo. Le prestazioni metrologiche del sensore tattile realizzato risultano pertanto migliorate; in particolare sono ampiamente ridotti tutti i segnali e i disturbi di modo comune nonché gli effetti legati all'iniezione di carica degli interruttori di ripristino e alla non perfetta simmetria del primo blocco posto a monte.

- b) Le nuove tecnologie consentono oggi di integrare gli stadi di acquisizione, di pre-elaborazione e, talvolta, di elaborazione del segnale di misura già a livello del sensore stesso, per mezzo anche di opportune strutture ibride. Ciò comporta la necessità, da un lato, di sviluppare algoritmi di calcolo e diagnostica adatti a essere successivamente gestiti dall'elettronica disponibile e, dall'altro, risulta di estrema importanza la caratterizzazione metrologica del sensore nel suo complesso. Tali problematiche sono state affrontate in [17]. In questa memoria viene illustrata l'attività di messa a punto di un banco prova automatizzato per la verifica metrologica dei sensori tattili. In particolare viene sviluppato un sistema per la taratura dei sensori tattili utilizzati in robotica, un esempio dei quali sono i sensori a PVDF incontrati in [10]. Le memorie pubblicate in questo ambito descrivono i risultati ottenuti in questa direzione e concretizzati con la realizzazione di un sistema elettromeccanico in grado di fornire una sollecitazione dinamica di tipo arbitrario del sensore in prova e di rendere disponibili i segnali di riferimento con i quali confrontare direttamente quelli caratteristici del sensore in prova. Di rilievo è l'accuratezza della sollecitazione prodotta e l'impiego di una scheda *DSP* quale elemento per garantire la compensazione adattativa della non-linearità tipica del sistema. Il legame forza – corrente, infatti, presenta non linearità sia rispetto alla corrente di eccitazione (il cui legame risulta quadratico) sia rispetto alla posizione. La linearizzazione del sistema avviene grazie a una particolare struttura innovativa che, per sommi capi, può essere così strutturata: *i*) innanzitutto, si imposta una corrente di polarizzazione così da rendere monodromo il legame forza – corrente; *ii*) successivamente, viene valutata la non linearità del sistema. In effetti è possibile constatare che il sensore in prova presenta una sua cedevolezza. Ciò, essenzialmente, comporta che, durante l'applicazione della forza l'attuatore elettromeccanico, seppur di poco, varia la sua posizione. Visto il legame che intercorre fra la forza risultante e la posizione dell'attuatore è, allora, necessario misurare, per mezzo di un sensore campione, lo spostamento e operare in modo tale da non fare corrispondere a ciò una variazione della forza; *iii*) Viene infine introdotta una non linearità complementare a quella dell'attuatore. La forza viene controllata, tramite la corrente, e viene infine verificata per mezzo di un sensore campione ed eventualmente corretta. Il sistema realizzato consente la taratura di sensori tattili nel campo di 1-50N e 0-30 Hz in regime sinusoidale ma anche in regime variabile arbitrario.
- c) La necessità di garantire un'adeguata qualità delle misure ha portato il prof. Lazzaroni a interessarsi non solo delle problematiche di condizionamento ed elaborazione dei segnali, ma anche dei dispositivi di conversione analogico-numerica, con particolare riguardo alla loro caratterizzazione. In particolare in [24], è stato mostrato come, tramite l'analisi armonica dell'errore di quantizzazione di un convertitore Analogico – Digitale, sia possibile dedurre utili informazioni sulla struttura della sua non linearità integrale.

- In [38], infine, sono descritti i parametri di progetto di un magnetometro in grado di effettuare misure di campo magnetico nel range 0.01Hz – 10 kHz. L'apparato è stato progettato per essere integrato in una rete sensoriale per il monitoraggio della distribuzione delle tre componenti spaziali del campo magnetico.
- d) Sono state valutate le problematiche inerenti la trasmissione dell'informazione in ambiente particolarmente disturbato. In particolare si è potuto applicare la metodologia proposta – basata su particolari tecniche radio di modulazione di frequenza - a sensori di pressione in ambienti in cui la trasmissione dell'informazione può avvenire solo in assenza di collegamento elettrico [29, 32, 34]. In questo filone di ricerca è stato proposto un sistema in grado di monitorare alcuni parametri utili al fine di caratterizzare l'azione lavante operata dall'acqua sugli indumenti posti all'interno di un cestello di una comune lavatrice. L'elemento sensibile è costituito da un sensore di pressione piezoelettrico e il segnale di misura, dopo essere stato elaborato da un sistema di conversione V/F, viene trasmesso a un ricevitore esterno al cestello di lavaggio. In remoto avviene, quindi, la ricezione e riconversione del segnale. L'intero sistema di misura è stato progettato in modo da avere la massima flessibilità, il minimo ingombro possibile, la massima autonomia e semplicità d'uso. Va inoltre segnalato che la ricerca è frutto di una collaborazione internazionale.
- e) Un nuovo filone di ricerca aperto è stato quello relativo ai trasduttori di corrente e alle problematiche legate alla presenza di distorsione armonica in alcuni tipi di sensori commerciali ad effetto Hall. La ricerca ha avuto come punto di partenza la definizione e la misura della distorsione presente in tali sensori, lo sviluppo di metodologie avanzate per la compensazione della stessa e, infine, la verifica sperimentale e metrologica della soluzione prospettata. Anche in questo caso l'obiettivo è stato quello di sviluppare nuovi trasduttori o introdurre, in quelli commercialmente disponibili, innovazioni in grado di migliorarne le caratteristiche metrologiche. In quest'ultima direzione si collocano le due memorie [38 e 40]. In queste memorie si mostra come, a partire da un trasduttore di corrente commerciale ad effetto Hall, sia possibile operare, mediante un semplice circuito ausiliario esterno in grado di introdurre una polarizzazione magnetica nel nucleo del trasduttore, un netto miglioramento delle sue caratteristiche di linearità e quindi dell'incertezza di misura.
- f) Lo studio delle metodologie di calcolo come mezzo per estendere e migliorare le prestazioni di particolari sensori di corrente (bobine di Rogowski) è un ulteriore campo di interesse. L'uso di opportuni metodi numerici nel calcolo integrale di alcune grandezze elettriche ha permesso di superare alcuni limiti intrinseci dell'integrazione analogica. L'introduzione di una nuova metodologia di calcolo ha permesso di effettuare misure di corrente con l'incertezza richiesta nelle misure di laboratorio [45, 50, 51].
- Nella memorie citate si è inoltre voluto valutare la fattibilità dell'impiego di una bobina di Rogowski nel campo delle misure di correnti di ampiezza ridotta (inferiori a una decina di ampere) a frequenza industriale. Attraverso un innovativo progetto della sezione elettronica di integrazione del segnale prodotto dalla bobina e all'impiego di dispositivi elettronici di elevate prestazioni, si è potuto dimostrare che l'uso di un trasduttore di corrente di questo tipo può essere esteso dal tradizionale campo delle correnti di elevata intensità e/o impulsive anche a quello delle correnti di ridotta intensità e bassa frequenza, conservandone però tutti i pregi di linearità, banda passante, sovra-caricabilità, *etc.*
- Si è ritenuto, a questo punto, di valutare la possibilità di abbandonare l'approccio analogico alla elaborazione del segnale – la cui parte preponderante è una integrazione – spostandosi verso un approccio di tipo numerico. Si è, a tal proposito, studiato un algoritmo in grado di eseguire l'integrazione numerica in tempo reale del segnale raccolto ai capi di una bobina di Rogowski. L'approccio proposto si è rivelato particolarmente interessante soprattutto per quanto riguarda l'immunità ai problemi rappresentati dalle tensioni di offset evidenziando al contempo una buona accuratezza.
- Lo studio teorico è stato poi confortato dai risultati sperimentali conseguiti. È stato, infatti, realizzato un prototipo da laboratorio con il quale sono state verificate le caratteristiche metrologiche di un sistema di misura facente uso dell'algoritmo di integrazione proposto oltre alle limitazioni operative legate alle interazioni presenti fra la bobina di Rogowski e l'elettronica di processo.
- I risultati conseguiti hanno suggerito di continuare il lavoro nella direzione intrapresa passando così alla realizzazione di un prototipo e di un sistema di processo dedicato. In tale sistema tutte le funzioni di misura ed elaborazione sono gestite da una singola scheda elettronica sviluppata *ad hoc* che, nei propositi, dovrebbe costituire un unico specifico strumento di misura. L'obiettivo ha portato alla realizzazione di un sistema in cui si utilizzano dispositivi a logica programmabile di tipo FPGA nei quali sono implementati gli algoritmi di elaborazione e misura. Questa particolare soluzione ha consentito una notevole riduzione dei costi e della complessità del sistema. La validità dell'approccio metodologico e l'elevato grado di ingegnerizzazione, insieme alla positiva caratterizzazione metrologica e funzionale del prototipo, consente

di affermare che il metodo proposto garantisce migliori risultati sull'integrazione della *f.e.m.* indotta ai capi della bobina di Rogowski rispetto ad un'integrazione analogica. Tale approccio presenta caratteristiche particolarmente interessanti soprattutto nel campo delle basse frequenze e delle basse correnti, dove il processo analogico di integrazione può diventare assai critico [55].

- g) Nel campo dei sensori a semiconduttori l'attenzione si è focalizzata sullo studio del rumore con lo scopo di migliorare la comprensione dei fenomeni che si sviluppano, a livello fisico, nei sensori stessi. In particolare, è stato studiato il rumore associato con il segnale di corrente in rivelatori del tipo *silicon drift detector* utilizzati, nelle ricerche per la fisica, nelle misure nucleari. Tali dispositivi sono utilizzati sia come rivelatori di energia, misurando la carica elettrica raccolta all'anodo, sia per determinare la posizione dell'evento ionizzante, misurando l'intervallo di tempo tra un evento in coincidenza (trigger) e l'istante in cui la carica elettronica raggiunge l'anodo.

La teoria della risoluzione in ampiezza e in tempo consente di determinare il filtraggio ottimo richiesto per rendere massimo il rapporto segnale-rumore. A tale scopo è necessario conoscere le diverse sorgenti di rumore, incluse le fluttuazioni statistiche della carica associata al segnale.

Il rumore elettronico è stato così valutato tenendo conto anche dell'induzione elettrostatica e con le corrette condizioni al contorno in corrispondenza degli elettrodi. Si è così superato il più tradizionale approccio in cui la corrente all'anodo è descritta come un puro processo di raccolta di elettroni; al contrario la corrente è stata considerata più correttamente come il risultato dell'induzione elettrostatica prodotta sull'anodo dal moto di diffusione e deriva delle cariche nel semiconduttore. Il modello teorico proposto ha portato a prevedere una riduzione del rumore associato al segnale, rispetto a quanto ci si aspetti dai modelli dove il processo di induzione è ignorato.

Sempre in questo ambito, la stima del rumore di generazione e di ricombinazione nei semiconduttori di lunghezza finita è stato oggetto di studio di una ricerca successiva. In tal caso, la fluttuazione nel numero di portatori carichi, dovuta alle transizioni casuali fra differenti livelli energetici localizzati, è pensata come un rumore che si sovrappone alla corrente che fluisce nel semiconduttore stesso. I risultati conseguiti in questa memoria sono assai incoraggianti. In particolare, si dimostra come tener conto del fenomeno della diffusione dei portatori porti a prevedere un aumento di un fattore due dell'ampiezza dello spettro del rumore di generazione e ricombinazione, se confrontato con quanto previsto da modelli che non tengono conto dell'effetto della diffusione. Tale differenza, particolarmente evidente alle basse frequenze, viene tuttavia a ridimensionarsi all'aumentare del campo elettrico applicato al semiconduttore e alle alte frequenze [59, 66, 74].

## **2) Metodi di misura delle scariche parziali e dello stato di invecchiamento dei materiali isolanti.**

Il prof. M. Lazzaroni ha iniziato a occuparsi dei sistemi di misura delle scariche parziali durante lo svolgimento del proprio dottorato di ricerca svolto presso il Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano. La fase iniziale degli studi ha riguardato l'analisi dei sistemi di misura della carica apparente in uso in quegli anni. Tale indagine ha consentito di evidenziare i limiti intrinseci nella metodologia impiegata dai sistemi, utilizzati in ambito industriale, che basavano la misura della carica apparente sulla tecnica della cosiddetta "*quasi integrazione*" e ha evidenziato come l'impiego di metodologie avanzate di elaborazione delle informazioni raccolte (e in particolare le tecniche di soft-computing) potessero permettere il superamento dei limiti delle metodologie tradizionali [2, 3, 6, 8, 11, 14, 16, 19, 21, 31].

La metodologia proposta per la misura delle scariche parziali, basata sull'integrazione a banda piena del segnale e successiva elaborazione numerica dei dati, grazie a un approccio del tutto innovativo, consente la stima della carica apparente senza gli inconvenienti dei sistemi di misura tradizionali.

Infatti, a differenza dei sistemi di misura delle scariche parziali industriali allora in uso, il sistema proposto è costituito da un sistema di raccolta, amplificazione e integrazione del segnale appositamente progettato per avere una banda passante tale da non alterare le caratteristiche di ampiezza e banda del segnale stesso. Successivamente, il segnale di scarica opportunamente integrato viene campionato, insieme con il valore istantaneo della tensione applicata, per mezzo di una convertitore A/D a 16 bit e viene identificato e memorizzato l'istante di scarica. L'aver realizzato l'integrazione del segnale per via analogica consente l'utilizzo di convertitori A/D ad alta risoluzione da un lato e dall'altro una velocità di campionamento relativamente bassa in quanto è sufficiente campionare alla velocità con cui si susseguono gli impulsi di scarica.

Di riflesso, il sistema di misura realizzato consente la stima e l'elaborazione di tutta una classe di parametri precedentemente non valutabili automaticamente nell'ambito di un singolo processo di misurazione (carica apparente valutata con una risoluzione tipica dei convertitori a 16 bit, istante di scarica, tensione di scarica e tutti i

parametri indicati dalla normativa CEI). Ciò è stato possibile in virtù dell'utilizzo di una metodologia di progetto volta a privilegiare la flessibilità del sistema di misura e la completezza dell'informazione relativa al processo fisico.

La tipologia dei dati acquisiti e la notevole capacità di memorizzazione dei risultati della misura, assolutamente sconosciuta nei sistemi di misura industriali del tempo, ha permesso, inoltre, di effettuare valutazioni di inferenza statistica di particolare validità vista la gran mole di dati disponibili (è infatti possibile raccogliere e catalogare più di 130.000 eventi di scarica).

Sempre nell'ambito di questa ricerca è emerso come uno dei punti critici fosse l'indisponibilità di un calibratore in grado di garantire la riferibilità metrologica delle misure effettuate. Pertanto ci si è dedicati all'analisi del problema proponendo un calibratore per sistemi di misura delle scariche parziali di nuova concezione. Nel processo di calibrazione proposto, la corrente d'impulso non è indotta nel circuito di misura, come nei calibratori tradizionali, bensì imposta. Il sistema di calibrazione realizzato è in grado di generare segnali di corrente dalle caratteristiche particolarmente spinte onde poter simulare l'impulso di corrente causato da una scarica parziale. In particolare è stato previsto un sistema di conversione Digitale – Analogico che, con opportuni accorgimenti nella parte di elaborazione è in grado di convertire dati alla velocità di 800 MSa/s [18, 22, 25]. Il sistema di conversione D/A proposto è costituito da quattro convertitori D/A scalati ciascuno in grado di aggiornare l'uscita con frequenza di 200 MSa/s. Tali prestazioni sono state ottenute con un prototipo da laboratorio realizzato dal prof. M. Lazzaroni. È tuttavia da segnalare che il progetto prevede un funzionamento sino a 1GSa/s: tali prestazioni sono raggiungibili dal sistema qualora realizzato con metodologie industriali.

Gli algoritmi di calcolo e di controllo del sistema sono stati implementati usando sia ambienti di sviluppo proprietari di alto livello (per es. LabView), sia sviluppando software *ad hoc* ogni qualvolta il software disponibile si è dimostrato inadeguato alle nuove esigenze emerse nel corso della ricerca.

Parallelamente alle attività citate il prof. Lazzaroni si è occupato della individuazione delle procedure analitiche che consentono di valutare lo stato di invecchiamento di un dielettrico sulla base dell'andamento nel tempo delle scariche parziali.

Nell'ambito di questa ricerca si è individuata una classe di trasformate tempo-frequenza (Gabor e Wavelet) che, grazie alla loro particolare capacità di interpretare i segnali fornendo una caratterizzazione degli stessi sia nel dominio del tempo sia della frequenza, ben si prestano a classificare il tipo di fenomeno di scarica in atto e, in ultima analisi, lo stadio di vita in cui l'isolante si trova [1].

Essendo ormai chiaro che col procedere dell'invecchiamento del materiale isolante cambiano le caratteristiche del fenomeno di scarica, una classificazione di detto fenomeno durante la vita dell'isolante può consentire la stima del tempo di vita residuo del componente elettrico su cui sono effettuate le misure.

In questa fase di ricerca l'attenzione è stata rivolta innanzitutto all'aspetto teorico del problema e alla messa a punto di strutture elaborative efficienti per l'implementazione degli strumenti matematici sopra citati nei sistemi di misura.

La ricerca si è concentrata sull'aspetto metodologico e, in particolare, sull'individuazione e soluzione dei problemi legati alla identificazione dei parametri del processo in atto. A tale scopo si è proposta una soluzione basata su un algoritmo originale in grado di processare le informazioni e di fornire in modo automatico un indice di valutazione dello stato del dielettrico.

Ciò ha richiesto la messa a punto di un processo di classificazione che è stato automatizzato utilizzando, congiuntamente agli strumenti matematici citati, algoritmi di logica neuro-fuzzy appositamente implementati ed istruiti [5, 15, 26, 28, 41].

Tali tecniche vengono impiegate per la formulazione di algoritmi di riconoscimento in funzione delle conoscenze derivanti da un numero limitato di rilievi sperimentali e dalle considerazioni ad essi legate; questa tecnica presenta interessanti vantaggi sia operativi sia implementativi in quanto svincola l'operatore dall'utilizzare algoritmi matematici in forma chiusa.

Sempre nel campo dell'investigazione dello stato di un isolante solido, in [23], infine, sono illustrati i criteri di elaborazione dei segnali di misura e i risultati sperimentali legati ad un processo di misura tomografico di tipo capacitivo, utilizzato per la diagnostica non distruttiva di un isolante.

### ***Cooperazioni internazionali nell'ambito della misura delle scariche parziali.***

Si ritiene di dover segnalare la proficua collaborazione con i Proff. P.H.F. Morshuis e E. Gulski della Delft University of Technology. È inoltre da segnalare che, nell'ambito di questa collaborazione, alcuni studenti del Corso di Ingegneria Elettrica del Politecnico di Milano che hanno avuto il prof. Lazzaroni come relatore di tesi, hanno svolto il loro lavoro di tesi presso l' High Voltage Laboratory dell'Università di Delft.



La collaborazione ha riguardato sia lo studio delle metodologie di misura delle scariche parziali, sia gli aspetti più legati al comportamento fisico dei materiali isolanti in presenza di scariche per poter individuare i parametri che meglio si prestano a caratterizzarne il comportamento [44, 49, 58].

### **3) Sviluppo di algoritmi per la gestione dei sistemi di misura complessi e dei metodi per la loro caratterizzazione metrologica.**

L'interesse per i sistemi di misura virtuali ha portato il prof. Lazzaroni a lavorare nel campo della qualificazione di tali strumenti. Infatti, questi sistemi, in particolare quando sono basati su algoritmi di elaborazione di segnali complessi o di tipo non tradizionale (fuzzy, neuro-fuzzy, neurale e algoritmi evolutivi), pongono problemi ancora largamente irrisolti che riguardano le capacità di qualificare, da un punto di vista metrologico, i risultati di misura forniti.

Un campo di applicazione particolarmente stimolante e attuale, a seguito della entrata in vigore del quadro normativo di liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica, riguarda lo studio e la validazione degli strumenti di misura digitali nel campo delle misure di "power quality".

Un primo passo in questa direzione ha considerato la valutazione della accuratezza degli strumenti per la misura della potenza elettrica basati su tecniche numeriche, in presenza di distorsione armonica dei segnali di tensione e di corrente. I risultati di questa indagine sono riportati in [7], in cui sono analizzate le diverse cause di incertezza introdotte dal software e dall'hardware impiegato; l'analisi teorica viene supportata dai risultati di alcune prove sperimentali eseguite in laboratorio.

Più recenti risultati della ricerca nell'ambito delle misure di *power quality*, riportati in letteratura, mostrano che l'analisi delle qualità del prodotto energia, e quindi del servizio offerto dagli enti preposti alla produzione e alla distribuzione di tale prodotto, non può fermarsi all'analisi sperimentale delle condizioni della fornitura e del prelievo in punti isolati della rete; la definizione di indici tali da potersi considerare strumenti efficaci di indagine presuppone, infatti, la verifica sul campo di tali grandezze alla luce dei dati provenienti dalla rete di distribuzione e prelevati da punti di misura geograficamente distribuiti.

Proprio per questo motivo sono stati studiati e realizzati sistemi di misura distribuiti che, utilizzando le tecniche di trasmissione dati su protocollo *TCP-IP*, riportano ad una unità di controllo centralizzata i dati prelevati in punti di misura tra di loro indipendenti. Tale progetto, finanziato dall'allora MURST, vede in [27] l'analisi delle condizioni e delle problematiche tecniche relative.

Uno degli interessi principali in questa ricerca è senza dubbio la caratterizzazione del software come parte integrante del sistema di misura.

Infatti, la complessità degli algoritmi di elaborazione numerica di segnali impiegati rende particolarmente difficile valutare come l'incertezza associata ai dati di ingresso si propaghi lungo gli algoritmi di elaborazione e contribuisca all'incertezza sul risultato della misura.

Il problema è ulteriormente complicato dal fatto che le misure di *power quality* richiedono, come già accennato, l'impiego di sistemi di misura distribuiti su scala geografica e il contributo dato dal sistema di interconnessione all'incertezza di misura è difficilmente stimabile, soprattutto se il sistema di connessione è di uso pubblico, quale Internet [7, 27, 36, 37].

Parecchi sono pertanto i punti di interesse affrontati in quest'ambito anche per quanto riguarda l'aspetto metrologico del problema, la cui soluzione ha richiesto una attività molto articolata, che va dalla messa a punto di un prototipo di sistema di misura distribuito [36] alla caratterizzazione metrologica dei suoi componenti [37] e, infine, alla messa a punto di un metodo per la qualificazione metrologica del software sviluppato.

Volendo, inoltre, realizzare strumentazione utilizzabile in campo, occorre che gli strumenti proposti garantiscano un adeguato livello di prestazioni utilizzando componenti che presentino buone caratteristiche ma che siano di tipo commerciale e quindi di costo contenuto; tale filosofia è stata seguita nella realizzazione dei trasduttori di corrente impiegati ed è riportata nella memoria [40].

### **4) Misure per l'automazione industriale.**

Come si è già accennato, le applicazioni delle moderne metodologie di elaborazione dell'informazione si stanno sempre più affermando nel campo dell'automazione industriale e coinvolgono anche i componenti a livello gerarchico più basso, tradizionalmente visti come dispositivi *stand-alone*, ma ora sempre più visti come integrati in un unico sistema di gestione ed elaborazione delle informazioni di processo.

In tale ottica, in collaborazione con ricercatori di altri settori scientifico-disciplinari interessati agli stessi problemi, ci si è occupati di problematiche legate al controllo e alla diagnosi in linea di convertitori elettronici per azionamenti elettrici.

Due sono i principali filoni di ricerca intrapresi.

In un primo filone, che è anche il primo in ordine di tempo, si è studiata la possibilità di utilizzare i dispositivi a logica programmabile (*Field Programmable Gate Array* - FPGA) per l'implementazione di inverter con modulazione, controllo dei tempi morti, protezioni e diagnostica implementati completamente su un dispositivo a logica programmabile che può essere programmato direttamente sulla scheda su cui è alloggiato (*In-System Programming*, ISP) [12].

Nelle soluzioni miste (hardware – software codesign) è stato investigato un approccio basato sulle reti di Petri ad alto livello (*High Level Timed Petri Net*) per lo sviluppo di algoritmi di controllo per PLD (*Programmable Logic Device*). Grazie a tale approccio è possibile verificare il rispetto dei vincoli temporali e l'evoluzione del sistema in termini degli stati raggiungibili [13].

Successivamente, l'interesse si è spostato sull'uso delle trasformate Wavelet sia nella diagnostica e nel controllo delle macchine elettriche sia nella definizione dei modelli per l'elettronica di potenza nel dominio Wavelet [42, 43]. In questo caso particolare l'attenzione maggiore è stata rivolta alla realizzazione del sistema di misura basato su strumentazione virtuale e, in seguito, sullo studio di possibili processi di calcolo per l'identificazione dei parametri del sistema.

Nell'ambito di questa attività è stata avviata una collaborazione con il Prof. A. Monti e la Dott.ssa F. Ponci del "Department of Electrical Engineering - University of South Carolina".

Infine, ci si è anche posti il problema di investigare come la strumentazione virtuale ben si presti alla soluzione dei problemi legati alla produzione in cicli automatizzati in cui la qualità del prodotto è subordinata ai controlli ed alle misure eseguite in linea; partendo da tali considerazioni e a titolo di esempio, in [33] è stato proposto uno strumento per la verifica dei motori asincroni.

Ultimamente l'attività di ricerca nel campo della diagnostica ha portato alla pubblicazione di parecchie memorie a stampa. Di particolare interesse è stata l'applicazione delle tecniche di *soft computing* alla diagnostica dei sistemi elettrici. Lo scopo di questi studi, pur ognuno con le rispettive peculiarità, è l'implementazione di strumenti di diagnostica semplici da realizzarsi e poco costosi che, partendo da un numero di informazioni assai ridotte – talvolta la sola corrente assorbita – siano in grado di classificare lo stato di funzionamento del sistema elettrico indagato. L'approccio proposto si avvale dei seguenti strumenti:

- La logica fuzzy dove, nel caso particolare, il sistema di regole fuzzy viene definito per mezzo di un opportuno algoritmo neurale [53, 56, 65].
- La trasformata wavelet utilizzata nelle memorie dove lo stato di guasto di un motore ad induzione si ripercuote sui coefficienti della trasformata della corrente assorbita dal sistema. Tale legame è particolarmente forte per alcuni coefficienti e ciò è stato utilizzato allo scopo di classificare lo stato del sistema su cui si vuole fare la diagnostica [63, 73].
- Algoritmi genetici per l'evoluzione di reti neurali dove le tecniche proposte sono essenzialmente due: un primo approccio è quello di definire la topologia della rete neurale sulla base delle conoscenze e della esperienza e di far evolvere le funzioni peso delle sinapsi mediante opportuni algoritmi genetici. Un secondo approccio, ben più complesso e per certi versi innovativo, è quello di far evolvere anche la topologia della rete neurale sotto la supervisione di un algoritmo genetico fissando a priori alcuni parametri progettuali quali il costo di un neurone e di una sinapsi. La ricerca, ancora in essere, è volta ora ad indagare circa la possibilità di riconoscere i guasti incipienti in modo da poter suggerire con congruo anticipo gli opportuni interventi di manutenzione [62, 68, 79, 82, 83, ].

Partendo dalle precedenti constatazioni, circa la necessità di essere in grado di predire il guasto incipiente, sono state condotte alcune ricerche nel campo dei sistemi fluidodinamici per il taglio mediante getto d'acqua (*waterjet*). Nello specifico si è ritenuto di poter indagare circa la possibilità di assegnare una "firma" al sistema fluidodinamico stesso. In particolare, partendo dalle correlazioni tra i segnali elettrici ai morsetti esterni del sistema ed alcuni segnali meccanici e fluidodinamici, è stato possibile definire un set di parametri che identificano la firma del sistema. Si è, infatti, visto come la qualità del risultato della lavorazione dipenda principalmente dallo stato dell'ugello. È stata pertanto studiata una tecnica basata su una misura indiretta (la potenza elettrica assorbita dal macchinario) per caratterizzarne tale stato anche durante la lavorazione.

Si è pertanto progettato e realizzato un sistema di diagnostica dimostratosi in grado di evidenziare i malfunzionamenti del sistema di taglio e di discriminare tra condizioni di funzionamento normale e anomalo oltre che, per taluni aspetti, un'inaspettata differenza di rendimento fra i diversi ugelli. Tale capacità discriminatoria consente di pianificare con maggior efficienza la sostituzione delle parti deteriorate senza attenderne la rottura, aspetto questo che, in alcune lavorazioni, risulta essere di notevole importanza economica [72, 77, 80, 86, 88, 89, 90, 91, 94, 95].

A questo filone di ricerca appartiene anche il lavoro di ricerca inerente la diagnostica con particolare

attenzione alle tecniche di diagnosi precoce [53, 56, 79, 80, 82, 83, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95].

### 5) *Misure per l'ambiente*

Due sono le problematiche che si delineano in questo ambito [61, 67, 71, 84]:

1) L'attuale tecnologia rende sempre maggiormente disponibili dispositivi che possono dirsi "intelligenti". Queste considerazioni suggeriscono di concentrare l'attenzione al mondo dei sistemi di misura complessi ed articolati, con parti fra loro collaboranti, e capaci di un reale sistema di controllo del processo di misura e della sua affidabilità metrologica secondo un modello assimilabile a una agenzia metrologica. In questo ambito sono stati compiuti studi al fine di realizzare architetture di sistemi di misura multi agente. Particolarmente interessante e, al contempo, fruttuosa è stata la collaborazione con ricercatori della Università della South Carolina (USA) nell'ambito della quale si sono gettate le basi per lo studio di sistemi per la misura e la diagnostica di sistemi elettrici di potenza con particolare attenzione ai motori elettrici. La possibilità di utilizzare a scopi diagnostici le misure eseguite sulle correnti assorbite e sulle tensioni di linea fa sì che tale tecnica diagnostica possa essere impiegata nell'ambito di un complesso sistema di monitoraggio ad agenti. L'impiego di una struttura multiprocesso organizzata in termini di agenzie e di agenti ben si presta alla realizzazione di un sistema dove l'intelligenza risulti distribuita così da non dover duplicare risorse, sia di misura sia computazionali, bensì condividendo le relative informazioni nella rete di agenti. Grazie alla capacità inferenziale degli agenti, l'agenzia svolge egregiamente funzioni di monitoraggio, diagnostica e controllo. Tali aspetti risultano particolarmente interessanti in quelle applicazioni in cui la riconfigurabilità e la flessibilità appaiono requisiti indispensabili. Possono, infine, essere inclusi in questa linea di ricerca anche i risultati documentati in [70,78 e 85].

2) L'attività di cui al punto precedente risulta legata al tema di ricerca, già illustrato, dei trasduttori. Infatti, nel campo delle misure ambientali l'approccio ad agenzie può rivelarsi assai interessante proprio per la complessità dei modelli, per il numero di grandezze da misurare e per la scala geografica su cui si va a lavorare. È risultato quindi naturale avviare studi nel campo sia dei sensori sia di agenti dedicati alle misure di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza per applicazioni fisse e mobili. Gli studi si sono concentrati sulla realizzazione di sensori a basso costo per campi elettrici e magnetici. L'approccio consiste nell'utilizzo di robot mobili opportunamente equipaggiati di sensori per l'analisi ambientale. Tali robot e i loro sistemi sensoriali, altro non sono che una rete di monitoraggio ambientale, dove l'infrastruttura di comunicazione è una delle parti di maggiore importanza. Per quanto riguarda il sensore per la misura del campo magnetico questo è stato sviluppato partendo dalle seguenti specifiche di progetto: banda sino a 10 kHz, risoluzione in frequenza pari a 1 Hz nelle tre componenti spaziali, possibilità di effettuare automaticamente una comparazione fra i livelli di campo misurati e soglie standard, costi assai ridotti rispetto ad analoghi dispositivi presenti sul mercato, possibilità di comunicare con un *host* computer allo scopo di trasmettere i risultati delle misure. Di particolare importanza è il successivo sviluppo di una piattaforma espressamente pensata per la gestione di dati multisensoriali in un sistema multi-agente. Gli aspetti legati ai servizi di comunicazione dell'agente risultano di fondamentale importanza e la maggior flessibilità di impiego implica la capacità autonoma dell'apparato di interfacciarsi e gestire protocolli di comunicazione differenti.

### 6) **Nuove metodologie diagnostiche a supporto dell'affidabilità, della qualità e del miglioramento delle prestazioni di applicazioni industriali e civili.**

Questo ambito di ricerca può essere a suo volta suddiviso, per comodità, in sotto ambiti più specifici. Tali ambiti di ricerca possono agevolmente essere ricondotti ad altri già illustrati ma per sottolineare alcune peculiarità e il diverso collocamento temporale (essendo qui ricomprese alcune ricerche più recentemente avviate), si è preferito dedicarvi una apposita sezione.

#### 6.a) ***Misure a supporto della diagnostica per motori elettrici mediante tecniche innovative***

Il prof. Lazzaroni ha messo a frutto le competenze maturate nell'ambito del riconoscimento di eventi complessi e nella valutazione dell'incertezza in un'attività di ricerca che lo ha visto collaborare anche con alcuni membri del gruppo di Misure Elettriche ed Eletttroniche (GMEE) del Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano e alcuni ricercatori dell'Università del South Carolina (USA) nell'ambito del monitoraggio e della diagnostica delle macchine elettriche. I metodi sviluppati si basano sull'utilizzo di strumenti di analisi in tempo-frequenza (trasformata *Wavelet*) e di algoritmi di riconoscimento che impiegano tecniche neuro-fuzzy.

Tra le differenti attività sviluppate in quest'alveo vi è anche lo studio di tecniche per la diagnostica dei dispositivi e dei sistemi a partire da misure effettuate alle porte elettriche, cioè dalla cosiddetta "firma elettrica"

(*Electrical Signature*). Particolarmente innovativo è lo sviluppo e l'applicazione di questa tecnica nel campo della diagnostica delle macchine elettriche. L'attività svolta ha portato allo sviluppo di vari algoritmi di predizione di guasto precoce per motori a induzione alimentati con inverter. Inizialmente è stata messa a punto una tecnica particolarmente innovativa per il rilievo di guasti sulla gabbia rotorica delle macchine a induzione azionate da inverter. Le tecniche tradizionali si basano solitamente sull'analisi delle correnti circolanti negli avvolgimenti della macchina (*Motor Current Signature Analysis*) e molte di esse richiedono algoritmi di *digital signal processing* piuttosto pesanti dal punto di vista computazionale. Al contrario, la tecnica proposta, anche se questo non è certamente l'unico aspetto innovativo, consente di riconoscere una condizione di guasto a partire dall'acquisizione delle correnti assorbite dall'azionamento e successive semplici operazioni che possono essere agevolmente eseguite anche da un microcontrollore dalle prestazioni e, quindi, dal costo particolarmente modesti. L'algoritmo si basa sul principio che una macchina asincrona con un guasto di rotore e alimentata da una terna di tensioni alla sequenza diretta assorbe dal *DC link* dell'inverter una potenza costante, a cui si sovrappone una componente alternata. L'ampiezza della componente alternata è strettamente correlata al carico meccanico e al livello di dissimmetria elettrica (cioè di guasto) del rotore. Poiché la frequenza dell'oscillazione di potenza è molto bassa, essa determina un'oscillazione della tensione del *DC link* che si ripropone a sua volta nell'andamento delle correnti assorbite dall'azionamento. I fondamenti del metodo nonché una sua applicazione ad un azionamento con ingresso monofase e logica di controllo scalare V/f in anello aperto sono descritti in [92, 102]. Ulteriori verifiche sperimentali ed approfondimenti hanno portato alla pubblicazione di un articolo su rivista internazionale [113]. Sulla scorta dei risultati ottenuti si è successivamente progettato e realizzato un dispositivo stand alone, basato su una scheda a microcontrollore, che permette di valutare in tempo reale i due indici di guasto proposti. È stata intrapresa anche un'indagine sull'applicabilità delle tecniche di diagnostica ad azionamenti con controllo scalare retroazionato in velocità. Ciò ha portato alla stesura di una ulteriore memoria [110]. A tali attività si è, quindi, accompagnato uno studio riguardo ai requisiti metrologici che deve possedere il sistema di acquisizione dati necessario per il rilievo dei guasti di rotore mediante le tecniche proposte. L'attività di ricerca ha portato alla definizione di un nuovo dispositivo di misura, ottimizzato per la valutazione degli indici di guasto [117]. Va segnalato, infine, che si è ritenuto necessario fare una ampia analisi dell'influenza del sistema di controllo della macchina sull'efficacia degli indici di guasto proposti [138]. Va, infine, segnalato che nell'ambito di questo filone di ricerca si è proposta l'introduzione di opportuni Indicatori di Qualità quali indici premonitori o meno di un guasto incipiente.

#### **6.b) Diagnostica per sistemi fotovoltaici**

Sempre rimanendo nell'alveo della ricerca finalizzata ad indagare e proporre nuove tecniche di diagnostica di sistemi elettrici, l'intensa attività di ricerca (prevalentemente sperimentale) ha consentito lo sviluppo di interessanti tecniche diagnostiche che ben si prestano ad essere vantaggiosamente utilizzate anche nei sistemi fotovoltaici. In particolare è stata affrontata la problematica del degrado delle prestazioni di sistema dovuta allo sporcamento della superficie dei pannelli stessi che, sulla scorta di quanto indicato da opportune analisi FMECA (*Failure modes, effects and criticality analysis*), risulta essere una delle principali cause di degrado del sistema [122, 124, 125, 132, 133, 134, 154].

#### **6.c) Elaborazione di segnali e dati per processi di controllo e decisionali**

L'elaborazione numerica del segnale e delle informazioni di misura è un ambito di ricerca molto ampio, che include, tra gli altri, metodi e tecniche quali il filtraggio, la ricostruzione, la predizione, il riconoscimento e la classificazione. In quest'ambito si inserisce un più recente filone di ricerca, quello dell'analisi di dati storici, che merita di essere qui brevemente illustrato.

Considerando che i dati di natura astronomica e meteorologica presentano delle ciclicità, l'uso dei dati storici può quindi essere utile per prevedere l'evoluzione di grandezze ambientali come, per esempio, la radiazione solare. Per questo motivo, in collaborazione con l'unità GMEE di Milano Politecnico è stato avviato un filone di ricerca volto alla definizione di modelli di predizione di radiazione che, impiegando serie storiche di dati meteorologici, consentono la definizione di classificatori impiegando come predittori diversi paradigmi (*Support Vector Machine, Extreme Learning Machine*, modelli autoregressivi, *Nearest Neighbor*) [128, 136, 137, 143, 144, 145, 147, 149, 151, 153].

#### **6.d) Misure per l'affidabilità, il controllo e la gestione della Qualità.**

Nell'ambito delle attività a supporto dell'Ateneo, il prof. Lazzaroni, quando si trovava al Politecnico di Milano, ha collaborato con il Centro per la Qualità di Ateneo occupandosi sia della gestione della Qualità del

Laboratorio SIT per le grandezze elettriche, sia delle possibili adozioni di un sistema qualità da parte di corsi di studio istituzionali a livello universitario. Nell'ambito di questa esperienza è nata la memoria [35] che guarda a quel particolare processo che è un corso di studi, operando il controllo dello stesso attraverso indicatori mirati all'analisi degli andamenti delle classi e dei percorsi formativi. Visto il particolare tipo di processo sottoposto ad analisi, particolare attenzione è stata allora posta ai metodi per la verifica della qualità della didattica.

Sempre nell'ambito delle tecniche a servizio dell'affidabilità e del controllo qualità è nata, oramai all'Università degli Studi di Milano, in collaborazione con le sedi GMEE di Milano – Politecnico, Bologna e Firenze, la memoria [98]. Sempre nell'ambito della cooperazione tra alcune delle sedi italiane del GMEE interessate alle tecniche di affidabilità e controllo di qualità è stato, inoltre, pubblicato il primo volume della collana dei Quaderni GMEE dal titolo “*L'affidabilità nella moderna progettazione: un elemento competitivo che collega sicurezza e certificazione*” [150] e il testo edito dall'editore internazionale Springer “*Reliability Engineering: Basic Concept and Application in ICT*” [151]. Frutto della collaborazione con le sedi GMEE di Firenze e Milano Politecnico sono, anche, gli articoli raccolti in una rubrica seriale denominata “Misure e Fidatezza” pubblicati sulla rivista Tutto Misure [120, 126, 129, 130, 131, 140 e 141].

Rientra, infine, nell'alveo di questo filone di ricerca la memoria [139] dove un sistema di misura della temperatura sviluppato *ad-hoc* consente l'ottimizzazione delle condizioni di utilizzo e l'affidabilità di un sistema di ancoraggio a magneti permanenti (è possibile tuttavia intravedere una sua collocazione anche nell'ambito della diagnostica e delle misure per l'automazione industriale).

## **7) Misure, strumentazione elettronica e sistemi di alimentazione per gli esperimenti di Fisica delle Particelle.**

Più recentemente è partita una nuova attività di ricerca volta alla progettazione degli upgrade della strumentazione utilizzata negli esperimenti di fisica delle particelle al CERN: ATLAS e LHC-b (che altro non sono che sistemi di misura particolarmente complessi). A tal proposito è stato avviato, nell'ambito del progetto INFN Apollo, (il Prof. Lazzaroni è il responsabile della Sezione di Milano) lo studio, la progettazione e la realizzazione di un nuovo alimentatore da utilizzarsi quando si arriverà all'upgrade previsto nei prossimi anni. Fanno parte di questa attività di ricerca le memorie [146, 150, 155, 156, 157, 158].

## ATTIVITÀ DI REVISIONE MEMORIE SCIENTIFICHE PER RIVISTE E CONVEGNI

### Conferenze

IEEE CIMS A (CIMS A 2003)

IEEE Int. Workshop on Advanced Methods for Uncertainty Estimation in Measurements (AMUEM 2005):

IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (dal IMTC 2004)

2009 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (dal EESMS 2009)

IMEKO TC10 - Workshop on New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for system's reliability, maintainability and safety since 2010

### Riviste

Solid State Electronics, Elsevier - ISSN: 0038-1101

JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, ISSN 0022-3727 (Print), ISSN 1361-6463 (Online)

Revisore della rivista scientifica internazionale ACTA IMEKO, <https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko>, ISSN: 2221-870X , dal 23/09/2016

Revisore per la rivista scientifica internazionale Renewable Energy, <https://www.journals.elsevier.com/renewable-energy>, ISSN: 0960-1481, dal 21/10/2015

Revisore per la rivista scientifica internazionale open access IEEE Access, <http://ieeaccess.ieee.org/>, ISSN: 2169-3536, dal 28/03/2018

Revisore per la rivista scientifica internazionale Applied Energy, <https://www.journals.elsevier.com/applied-energy> , ISSN: 0306-2619, dal 01/10/2015

Revisore per la rivista scientifica internazionale IEEE Transaction on Instrumentation and Measurements, <http://iee-ims.org/publications/iee-transactions-instrumentation-measurement-tim> , ISSN: 0018-9456, dal 07/07/2008

Revisore per la rivista scientifica internazionale Measurement, Elsevier, <https://www.journals.elsevier.com/measurement/>, dal 25/08/2010

Co-autore e co-responsabile di una serie programmata di articoli denominata "I Seriali di T\_M: Misure e Fidatezza" sulla rivista Tutto\_Misure. Sito della rivista: <http://www.affidabilita.eu/tuttomisure/RubricheTM.aspx>, dal 01/03/2011 al 30/06/2015

Curatore (insieme ad altri 2 colleghi) della rubrica denominata "I Seriali di T\_M: Misure e Fidatezza" sulla rivista Tutto Misure (<http://www.affidabilita.eu/tuttomisure/RubricheTM.aspx>), dal 01/09/2015.

### Editor

Membro dell'Editorial Board della Rivista ACTA IMEKO. Si allega la pagina web dell'Editorial Team della rivista ACTA IMEKO (<https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko/about/editorialTeam>, sotto la voce "Editorial Board"), dal 23-09-2016.

Associated Editor della rivista internazionale IEEE Instrumentation and Measurement (dal 10/04/2017), <http://iee-ims.org/contacts/tim-associate-editor>

## ATTIVITÀ DI SUPPORTO A CONGRESSI

### *Volta Colloquium on Partial Discharge Measurement*

- È stato segretario organizzativo della quarta, della quinta e della sesta edizione del “Volta Colloquium on Partial Discharge Measurement”, sponsorizzato dalla IEEE.

*Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2004. IMTC 2004 – Como Italy, 18-20 Maggio 2004:*

- Technical Program Reviewers;
- Session Chair

### *Congresso Nazionale Gruppo di Misure Elettriche ed Eletttroniche (GMEE)*

Organizzatore della edizione 2004 in Crema (CR), Italia

*Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2005. IMTC 2005 – Ottawa Canada, 16-19 Maggio 2005:*

- Technical Program Reviewers;

*Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006. IMTC 2006 – Sorrento Italy, 24-27 Aprile 2006:*

- Technical Program Reviewers;

*Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2007. IMTC 2007 – Varsavia, Polonia, 01-03 Maggio 2007:*

- Technical Program Reviewers;

*International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2008. IMTC 2008 – Victoria, Vancouver Island, Canada, May 12-15, 2008:*

- Session Chair;
- Technical Program Reviewers;

*International Instrumentation and Measurement Technology Conference, dal 2009*

- Proponente Special Session nell’ambito delle Misure per l’affidabilità e relativa attività di revisione.

*2009 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Crema, Italy, 25 September 2009*

- Program Chair
- Sito Internet: <http://eesms2009.dti.unimi.it/index.php>

*2010 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Taranto, Italy, 9 September 2010*

- Program Chair
- Sito Internet: <http://eesms2010.dti.unimi.it/index.php>

*2011 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Milano, Italy, 28 September 2011*

- Program Chair
- WWW URL: <http://eesms2011.dti.unimi.it>
- CFP URL: <http://eesms2011.dti.unimi.it/cfp.php>

*2012 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Perugia, Italy, 28 September 2012*

- Program Chair
- WWW URL: <http://eesms2012.dti.unimi.it>
- CFP URL: <http://eesms2012.dti.unimi.it/cfp.php>

*2013 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems*

- Program Chair
- Session Chair

## FINANZIAMENTI ALLA RICERCA, CONTRATTI DI RICERCA E DI CONSULENZA

### Partecipazione ai seguenti Programmi di ricerca Pubblici (competitivi):

1) PRIN 2002:

Coordinatore scientifico Prof. BRANDOLINI Arnaldo

Responsabile scientifico Prof. BRANDOLINI Arnaldo

Titolo: Sistemi sensoriali cooperanti: realizzazione, sperimentazione e caratterizzazione metrologica di sensori di campi elettrici e magnetici per il monitoraggio ambientale.

2) PRIN 2004

Coordinatore scientifico Prof. PETRI Dario

Responsabile scientifico Prof. FERRERO Alessandro

Titolo: Metodi e procedure per il monitoraggio remoto delle caratteristiche metrologiche di una rete di sensori ambientali

3) Bando (competitivo) per il finanziamento di “Grandi Attrezzature” – Università degli Studi di Milano

Proponente principale delle domanda di finanziamento di un “Laboratorio di Misure elettriche ed elettroniche”

Finanziato nel Settembre 2007 - € 40.000,00

4) KITE.IT: Knowledge and business Intelligence Technologies in cross Enterprise environments for ITalian advanced mechanical industry

ENTE CONTRAENTE/FINANZIATORE:

Governo italiano, Ministero dello Sviluppo Economico

DECORRENZA E TERMINE DI SCADENZA: 3 anni (data di inizio 1 LUGLIO 2011)

5) INFN - Alimentatori di POtenza per aLti Livelli di radiazioNe (APOLLO)

Proposta di R&D su alimentatori di potenza per l'upgrade di LHC fase 2.

Responsabile Locale Sezione di Milano: Prof. M. Lazzaroni (3 anni scadenza 12/2013)

6) INFN – CERN – LHCb

Partecipante (dal 01/07/2013)

7) INFN – CERN – ATLAS (LAr)

Partecipante (dal 01/01/2014)

8) Responsabile del programma di ricerca “Power section of the trigger board for the Phase I ATLAS Liquid Argon Calorimeter” 2015 – 2017, Budget € 180.000,00. Finanziato dall'esperimento CERN/ATLAS e da INFN.

9) Responsabile Scientifico (PI) dello studio, progettazione e produzione dell'alimentazione delle nuove schede di trigger, in seno alla partecipazione della Sezione INFN di Milano all'upgrade della elettronica di trigger del calorimetro ad argon liquido dell'esperimento ATLAS al CERN ("Addendum No. 12 to the Memorandum of Understanding for Collaboration in the Construction of the ATLAS Detector," CERN-RRB-2014-051), per un budget previsto di 218.000 CHF per gli anni 2015 - 2018. Si segnala che trattasi di progettazione e realizzazione di apparecchiature che, nel loro insieme, realizzano un complesso sistema di misura ad elevate prestazioni. Dal 01-01-2015.

10) FABBR 2017 (Fondo di Finanziamento per le Attività Base di Ricerca – FFABR). Ammesso al Finanziamento con Punteggio produzione scientifica: 90.

### Programmi di ricerca/consulenza/convenzioni con aziende private

Responsabile Scientifico dei seguenti contratti con relativo numero di registrazione presso l'Università degli Studi di Milano.



Contratto N° 1 – anno 2004 - Euro 18.500,00	N°. Scheda 7635
Contratto N° 2 – anno 2005 - Euro 20.000,00	N°. Scheda 8249
Contratto N° 3 – anni 2006/2008 - Euro 60.000,00	N°. Scheda 8888
Contratto N° 4 – anni 2009/2011 - Euro 66.000,00	N°. Scheda 12329.

Tema: “*Analisi dei sistemi di gestione, controllo e misura attualmente prodotti?*” (trattasi analisi studio e progettazione di sistemi innovativi per la gestione, il controllo e la misura di grandezze elettriche e magnetiche nel campo dei sistemi di ancoraggio e sollevamento a magneti permanenti e a elettromagneti) per una azienda leader mondiale nel settore. I risultati conseguiti hanno portato l’azienda a rinnovare il contratto senza soluzione di continuità.

Contratto N° 5 – anni 2013/2015 - Euro 78.000,00	N°. Scheda 16863.
--	-------------------

Tema: “*Analisi dei sistemi di gestione, controllo e di misura attualmente prodotti anche al fine di studiarne e migliorarne l’affidabilità?*”.

I citati contratti hanno avuto come fine lo svolgimento di stimolanti ricerche in ambito industriale permettendo l’introduzione di interessanti innovazioni. Queste innovazioni, ottenute grazie al lavoro di un gruppo di ricerca industriale coordinato dal Responsabile Scientifico, hanno riguardato vari aspetti nel campo dell’automazione industriale con una maggiore enfasi alle problematiche di misura emerse. Si sono, infatti, ottenuti notevoli miglioramenti nella parte riguardante le misure in campo e nelle tecniche volte al “decision making”. Infine, il notevole miglioramento nella misura delle grandezze d’interesse ha portato a interessanti sviluppi nella progettazione di sistemi ad alta affidabilità. Alcuni risultati della ricerca sono stati pubblicati.

## **PARTECIPAZIONE A COMITATI NAZIONALI DI NORMAZIONE.**

- Membro CT 85 del CEI “Strumenti di misura delle grandezze elettromagnetiche” dal 7 luglio 2004; Dal 2008 vicesegretario.
- Membro e Segretario CT 66 del CEI “Sicurezza degli strumenti di misura, controllo e da laboratorio” dal marzo 2005; Dal 2008 è confluito nel comitato CT85/66, vicesegretario.
- Membro del CT 85/66 “Strumentazione di misura, di controllo e da laboratorio”. Dal 24/01/2014 segretario.
- Membro CT 56 del CEI “Fidatezza” da settembre 2007;
- Membro Commissione mista UNI/CEI di Metrologia Generale dal 2006.
- Dal Dicembre 2016 Presidente del CT 85/66 “Strumentazione di misura, di controllo e da laboratorio”.

## **ATTIVITÀ DI ORGANIZZAZIONE SEMINARI**

- Seminario a carattere scientifico “L’ottica adattiva” organizzato il 10/12/2003 presso il Dipartimento di Tecnologie dell’Informazione dell’Università degli Studi di Milano, relatore dott. Ing. Fabio Emilio Zocchi – Media Lario.
- Seminario a carattere scientifico “La gestione elettronica della Tracciabilità e della Rintracciabilità” Martedì 26/04/2005 alle 16:30, Aula A-Nord, presso il Dipartimento di Tecnologie dell’Informazione dell’Università degli Studi di Milano, relatore dott. Ing. Cristiano Calligaro, Ph. D - MAPP Technology.

## **ALTRE ATTIVITÀ ACCADEMICHE**

- 1) Revisore Progetti Europei.
  - “The Consolider Programme is a new strategic action that the Spanish Ministry of Education and Science has undertaken in order to foster high quality research in Spain. It consists of a small number of generous grants intended to fund research programmes that do not fit into the usual “research project” profile. The key target is to promote a qualitative change –a “forward leap”- in those fields of research for which Spain already has very competitive laboratories and research groups”.Data: anno 2007.
- 2) Commissione di Riordino Corso di Studi in Informatica.  
Membro della commissione di riordino dei corsi di Studio di Informatica (Triennali e Specialistica) sino a quando è divenuta operativa l’afferenza al Dipartimento di Fisica.
- 3) Giunta di Dipartimento.  
Membro della Giunta del Dipartimento di Tecnologie dell’Informazione per il triennio 2004 - 2007.
- 4) Membro della Commissione Piani di Studio del CONSIGLIO DI COORDINAMENTO DIDATTICO - LAUREE DELLA CLASSE INFORMATICA (CREMA) dal 2005 al 2012 (compresi).
- 5) Membro della Commissione di Esame finale per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Elettrica presso l’Università degli Studi di Padova.
- 6) Membro della Commissione di Esame finale per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Elettrica presso il Politecnico di Milano, anno 2009.
- 7) Membro della Commissione di Esame finale per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Industriale e dell’Affidabilità presso l’Università degli Studi di Firenze, anno 2011 (29/03/2011).
- 8) Giunta di Dipartimento.

Membro elettivo della Giunta del Dipartimento di Fisica per il triennio 2015 - 2018.

9) Giunta di Dipartimento.

Membro elettivo della Giunta del Dipartimento di Fisica per il triennio 2018 - 2021.

10) Iscritto al REPRISSE

11) Revisore di progetti di ricerca industriali per la Provincia Autonoma di Trento (2017).

12) Revisore di progetti di ricerca per il MIUR (dal 2017).

13)

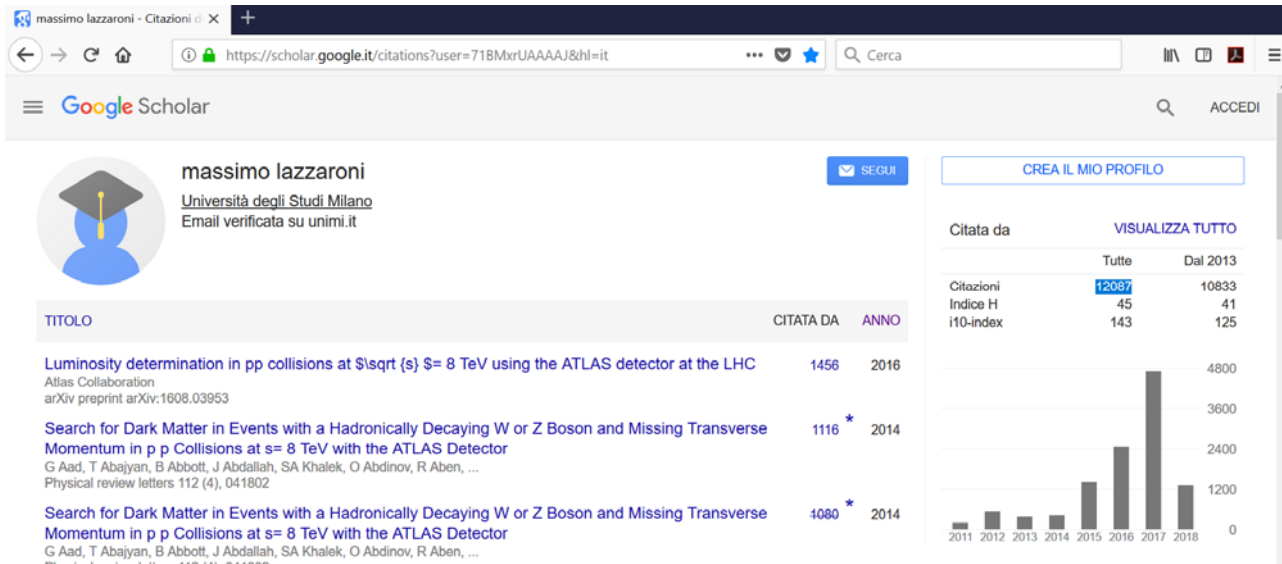
### ALTRE ATTIVITÀ

- 2010 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2010" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "Il Sole 24 Ore".
- 2011 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2011" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "Il Sole 24 Ore".
- 2012 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2012" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "Il Sole 24 Ore".
- 2013 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2013" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "Il Sole 24 Ore".
- 2014 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2014" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "New Business Media/Tecniche Nuove".
- 2015 - Giuria dell' "INNOVATION AWARD 2015" della rivista "Selezione di Elettronica" del gruppo "New Business Media/Tecniche Nuove".
- Dal Gennaio 2014 membro del Comitato Accademico Smart City della Fondazione Energy Lab  
Fondazione EnergyLab - Via Garegnano, 45 – Milano - PH. + 39 02 84143967 - MOB. +39 348 1580738  
laboratori@energylabfoundation.org | www.energylabfoundation.org
- **Certificazione del Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica secondo le NORME UNI EN ISO 9000.** Il lavoro svolto ha riguardato principalmente la definizione dell'organigramma, la stesura del manuale della Qualità, dei profili denominati "Deleghe e Responsabilità" e delle procedure gestionali. Nel dicembre 1999 il D.U. in Ingegneria Elettrica ha ottenuto la certificazione a NORMA UNI EN ISO 9001. La certificazione è stata successivamente assegnata anche al nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica (Nuovo Ordinamento). Nell'ambito del sistema qualità implementato il prof. Massimo Lazzaroni, per tutto il tempo che è rimasto in servizio presso il politecnico di Milano, ha ricoperto il ruolo di Assistente alla Assicurazione Qualità (AAQ).
- **Procedura di accreditamento SIT del laboratorio di tarature presso il Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano.** Il lavoro consiste nell'attuazione di tutte le procedure che porteranno il laboratorio, in via di realizzazione, ad essere centro SIT per le grandezze elettriche. In questo ambito ci si è occupati della classificazione e caratterizzazione degli strumenti di misura e dei campioni disponibili presso il Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico di Milano. Sono inoltre state approntate tutte le procedure gestionali e molte di quelle tecniche.
- **Esaminatore per la certificazione EQDL.** La *Patente Europea della Qualità* - EQDL è un certificato che attesta il possesso dei requisiti minimi di conoscenza dei termini, delle norme, dei metodi e dei processi utilizzati nel mondo della Qualità, indipendentemente dalle esperienze professionali del richiedente. Qualifica: **Esaminatore**. Sito Internet: <http://www.eqdl.it/index.php>.
- Attestato di partecipazione e superamento esami del corso per Valutatori dei Sistemi Qualità in Aziende di Servizi.
- Attestato di partecipazione alla giornata di In-formazione organizzata dall'ANVUR per la Formazione per Esperti Disciplinari di Valutazione.

## INDICATORI BIBLIOMETRICI

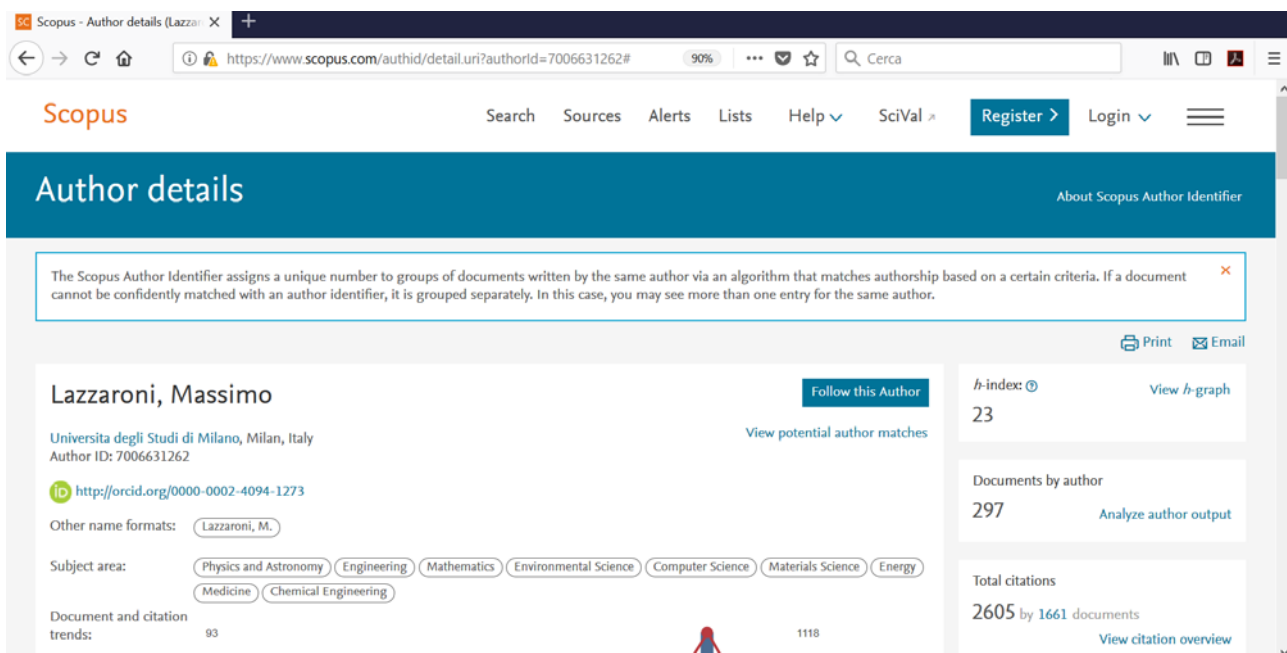
### Source: Google Scholar (date: 2018/04/04)

Numero citazioni totali 12087  
 H-index 43  
 i10-index 143



### Source: Scopus (date: 2018/04/04)

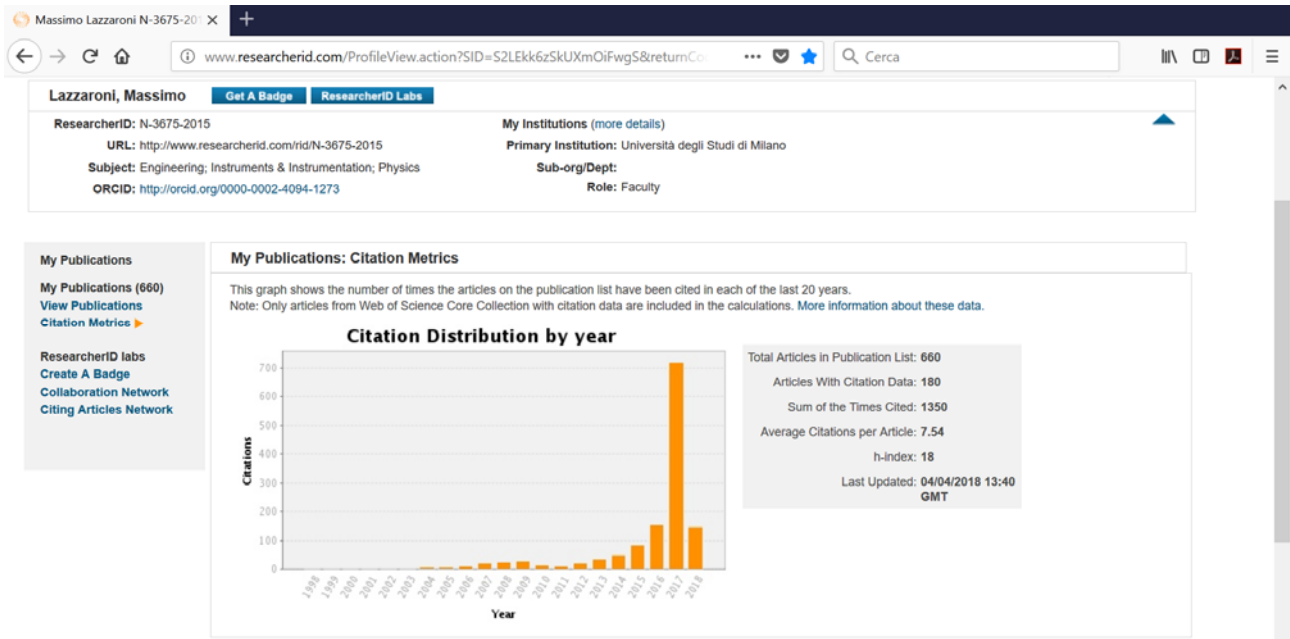
Citations: 2605  
 H-index: 23



Source: ISI-WOS (date: 2018/04/04)

Citations: 1350

H-index: 18



Source: INSPIRE (date: 2018/04/04)

Citations: 5729

H-index: 40

