

CURRICULUM ATTIVITA' SCIENTIFICA E DIDATTICA

Nicola Gherardo Ludwig

Nicola.ludwig@unimi.it

Formazione superiore:

- 2004 Dottore di Ricerca in Scienze per la Conservazione dei Beni Culturali. XVI ciclo presso l'Università degli Studi di Firenze.
- Tesi di dottorato su "Tecniche di spettroscopia d'immagine" relatore Prof. Mario Milazzo
- Gennaio-aprile 2004 Stage presso Laboratori di ricerca del Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) sede del Louvre – Parigi
- Giugno 2003 International School of Physics Enrico Fermi Corse CLIV "Physics methods in Archaeometry"
- Ottobre-novembre 2002 stage presso Laboratorio di Ottica applicata ai Beni Culturali dell'*Istituto Nazionale di Ottica Applicata* presso l'Opificio delle Pietre Dure sede Fortezza da Basso, Firenze.
- 1991 Laurea in Fisica conseguita presso l'Università degli Studi di Milano con tesi sperimentale "Misure di ozono in atmosfera" relatore prof. Ugo Facchini.

Esperienze lavorative:

da ottobre 2006 **Ricercatore Universitario** settore scientifico disciplinare FIS/07 Fisica applicata a beni culturali, ambientali, biologia e medicina,

2018-2019 **Professore a contratto** corso Elementi di Fisica per il restauro presso Accademia di belle arti – Brera.

Professore aggregato Metodi di analisi per lo studio dei beni culturali (dal 2010), Tecniche fisiche avanzate applicate per lo studio dei beni culturali (dal 2016); Analisi non distruttive per i Beni Culturali (2010-2017) per il Corso di laurea in scienze e tecnologie per lo studio e la conservazione dei B.C. e dei supporti dell'informazione (F8X e F8Y).

2006-2013 affidamento dei corsi di Analisi chimiche e di Metodi analitici per lo studio dei beni Culturali presso la Facoltà di Lettere e Filosofia- Corso di laurea in Scienze dei Beni Culturali-laurea triennale e laurea magistrale in storia e critica dell'arte.

1999-2006 **Tecnico laureato** a tempo indeterminato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano con compiti di assistenza all'attività didattica di laboratorio del corso di Laboratorio di fisica 3 e 4 (elettromagnetismo, ottica e fisica moderna).

1993-1999 contratto come tecnico laureato (ex art 26 DPR 382/80) con l'Istituto di Fisica Generale Applicata (Università degli Studi di Milano) per l'utilizzo di apparecchiature termografiche presso il laboratorio di Archeometria della cattedra di Metodologie Fisiche per i Beni Culturali (Prof. Mario Milazzo)

1997-1998 Collaboratore a *le Scienze- Scientific American*

1992-1994 Supplente di matematica e fisica (Liceo G. Parini - Milano 1992/93 B. Russel - Milano 1993/94)

Esaminatore ECDL (european computing driving licence)

Autore di libri a livello divulgativo e manuali specialistici.

Docente master e scuole estive:

Master in Color Design & Technology del Politecnico di Milano per la II (2014-2015) e III edizione (2018-2019), docente di History and perception of color e Colorimetry and color systems.

Tecniche di Termografia per l'Architettura e di *Riflettografia IR* nelle 9 edizioni della scuola estiva di Archeometria organizzata dall'Università degli Studi di Lecce (1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011);

"Master per ricercatori esperti nel monitoraggio e diagnostica dei B.C." nell'ambito del progetto SIDART dell'Università degli Studi di Lecce-ISUFI. (2004)

Collaborazioni come docente di Fisica e di Termografia e di Tecniche di indagine non distruttive presso corsi di formazione FSE in collaborazione con soggetti pubblici e privati:

Corso di Laurea in Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali Università di Bologna (Ravenna 2004);

Tecniche di Imaging per il Master di Scienze Applicate ai Beni Culturali presso la Facoltà di Scienze matematiche fisiche e naturali dell'Università degli Studi di Milano-Università degli Studi di Milano Bicocca novembre 2001-ottobre 2002

Corso di Restauro di Opere d'Arte Moderna e Contemporanea presso l'Università degli Studi di Ferrara (A.A. 1996/97);

Professore a Contratto (ex art 25 DPR 382/80) del corso di "Tecniche infrarosso per lo studio dei beni culturali" integrativo dell'insegnamento di Laboratorio di Archeometria presso il Corso di Laurea in Fisica dell'Università degli Studi di Milano dall'A.A. 1997/98.

Relatore e correlatore di circa 50 tesi di laurea in Fisica, Scienze dei Beni Culturali e scienze per lo studio e la conservazione dei beni Culturali e dei supporti dell'informazione.- Università degli studi di Milano e correlatore di 3 tesi presso il politecnico di Milano (facoltà di Architettura).

Attività di ricerca

Dal 2014 coordinatore **Centro di ricerca coordinata per le applicazioni in ambito clinico e di laboratorio di tecniche non invasive di analisi multispettrale e di ricerca traslazionale**. Coordinated Research Center for clinical and laboratory applications of non-invasive multispectral analysis and translational research. Con sede presso il Dipartimento di Fisica

Membro dell'associazione Italiana di Archeometria e della Società Italiana di Ottica e Fotonica. Associato INFN per il 2004 e il 2005 nell'ambito del progetto MASAI – unità operativa di Milano.

Dal 2017 partecipazione al progetto MOBARTECH *una piattaforma mobile tecnologica, interattiva e partecipata per lo studio, la conservazione e la valorizzazione di beni storico-artistici* (capofila Arteria srl), Regione Lombardia ID 24096, Azione I.1.b.1.3 - Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi.

Da oltre venti anni collaborazione con il Politecnico di Milano (Dipartimento ABC prof.ssa Rosina, Dipartimento di Conservazione e Storia dell'Architettura proff. Dezzi-Bardeschi e Cruciani-Fabozzi, Dipartimento di Ingegneria Strutturale prof.ssa Binda) e con l'istituto per la conservazione e la valorizzazione dei Beni Culturali (CNR-ICVBC) per la messa a punto di metodologie di indagine non distruttiva su manufatti architettonici mediante sistemi termografici. In particolare sono state messe a punto tecniche di monitoraggio non invasive dell'umidità di superficie ed è stata studiata l'applicabilità di modelli analitici per la diffusione del calore in versione semplificata per l'impiego in indagini termografiche su opere in muratura. Organizzazione del congresso MODIHMA (MOisture Detection In Historic MASONry, due edizioni, 2011 e 2018) <http://www.modihma2018.polimi.it/>.

Nel 2002-2004 nell'ambito della ricerca sulle tecniche di imaging multispettrale, oggetto della tesi di dottorato, stage presso il Laboratorio di Ottica applicata ai Beni Culturali dell'*Istituto Nazionale di Ottica Applicata* presso l'Opificio delle Pietre Dure sede Fortezza da Basso, Firenze (dott. Maurizio Cetica e dott. Luca Pezzati). In questo contesto si è svolta la partecipazione alla campagna diagnostica (novembre 2002) sul David di Michelangelo presso la Galleria dell'Accademia (*Come sta il David?* marzo 2004 ed. Galleria dell'Accademia).

L'attività di ricerca del dottorato si è conclusa con lo stage presso i Laboratori di ricerca del Centre de Recherche et de Restauration des musées de France (C2RMF) sede del Louvre nell'ambito del progetto europeo CRISATEL – Conservation Restoration Innovation Systems for image capture and digital Archiving to enhance Training Education and lifelong Learning (Dr. Christian Lahanier)

Dal 2003 nell'ambito del cofinanziamento MIUR (terzo rinnovo 2006-2007) per lo sviluppo di tecniche non invasive sulle opere d'arte collaborazione con l'Università degli Studi di Bologna Dipartimento di Arti

Visive (prof. Mauro Lucco) per lo sviluppo di sistemi portatili per la riflettografia IR ad alta definizione e con il CRIBECU (centro Ricerche Informatiche per i Beni Culturali) della scuola Normale di Pisa per la realizzazione dell'archivio generale delle indagini non invasive sulle opere d'arte (prof. M. Ferretti).

L'attività di ricerca del gruppo nell'ambito della riflettografia è stata citata sul numero di maggio 2005 di Europhotonics.

Dal 2004 nell'ambito delle iniziative per l'anno mondiale della fisica è stato allestito uno spettacolo di fisica rivolto alla divulgazione dell'approccio sperimentale agli aspetti di base della conoscenza della luce e della materia, lo spettacolo rappresentato per la prima volta nel novembre 2004 al Festival della Scienza di Genova ha partecipato su invito all'open day dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso – INFN (2005 2007 2009 e 2015). All'inizio del 2019 gli spettacoli rivolti a diversi tipologie di pubblico dalle scuole elementari alle superiori al pubblico generico hanno avuto più di 400 repliche e circa 120'000 spettatori. (<http://spettacolo.fisica.unimi.it/>).

Comunicazione su invito a congressi della Società Italiana di Fisica:

1999 Pavia : “La termografia nella diagnostica delle superfici murarie.”

2007 Pisa “Nuovi sviluppi delle tecniche di riflettografia IR per lo studio di opere pittoriche”

Pubblicazioni:

dal 1991 al 2019 ha pubblicato un totale di circa 150 lavori in compartecipazione o come singolo autore in diversi ambiti della fisica applicata: fisica terrestre e ambientale, fisica applicata alla biologia, alle scienze dello sport e alla didattica della fisica. La produzione scientifica principale si è sviluppata nel contesto delle metodologie di Fisica per lo studio e la diagnostica dei Beni Culturali con particolare riferimento alle tecniche di indagine ottica non invasiva in infrarosso (termografia e riflettografia) e alla spettroscopia visibile-infrarossa applicata allo studio dei pigmenti pittorici.

Pubblicazioni più recenti o di maggiore rilevanza:

1. Ludwig N., Gargano M., Luzi F., Carezzi C., Verga M. Technical note: Applicability of infrared thermography as a non invasive measurements of stress in rabbit. **World Rabbit Science** 15, (4) (2007).
2. Gargano M., Ludwig N, Poldi G., A new methodology for comparing IR reflectographic systems, **Infrared Physics & Technology** 49, (2007) 249–253,.
3. Rosina E., Ludwig N., Della Torre S., D'Ascola S., Sotgia C., Cornale P. Thermal and hygroscopic characteristics of restored plasters with different surface textures. **Materials Evaluation** 66, 12, (2008), 1271-1278
4. M. Iriti, V. Picchi, M. Rossoni, S. Gomasasca, N. Ludwig, M. Gargano, F. Faoro, Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. In **Environmental and experimental botany** 66, (2009), 493-500.
5. N. Ludwig, R. Cabrini, F. Faoro, M. Gargano, S. Gomasasca, M. Iriti, V. Picchi and C. Soave: *Reduction of evaporative flux in bean leaves due to chitosan treatment assessed by infrared thermography*. In **Infrared Physics & technology** (2010), vol. 53, p. 65-70, ISSN: 1350-4495
6. M. Bertucci, L. Bonizzoni, N. Ludwig, M. Milazzo: A new model for X-ray fluorescence autoabsorption analysis of pigment layers. In: **X-ray spectrometry**. - ISSN 0049-8246. - ISSN 1097-4539. - 39:2 (2010), pp. 135-141.
7. S. Nava, F. Becherini, A. Bernardi, A. Bonazza, M. Chiari, I. Garcia-Orellana, F. Luccarelli, N. Ludwig, A. Migliori, C. Sabbioni, R. Udisti, G. Valli, R. Vecchi. A integrated approach to asses air pollution threats to cultural heritage in a semi-confined environment: The case study of Michelozzo's courtyard in Florence (Italy). **Science of the total environment**. - ISSN 0048-9697.- ISSN 1879-1026.- 408:6 (2010), 1403-1413.
8. L. Bonizzoni, C. Colombo, S. Ferrati, M. Gargano, M. Greco, N. Ludwig and M. Realini, A critical analysis of the application of EDXRF spectrometry on complex stratigraphies. **X-ray spectrometry** 40: 4 (2011), 247-253.
9. E. Grinzato, N. Ludwig, G. Cadelano, M. Bertucci, M. Gargano, P. Bison, Infrared thermography for moisture detection: a laboratory study and on the field test. In: **Materials evaluation** 69, 1 (2011), 97-104.
10. M. Carpineti, M. Cavinato, M. A. L. Giliberti, N. G. Ludwig, L. Perini, Theatre to motivate the study of physics. **JCOM: Journal of science communications**, vol. 10, p. 1-10, (2011). ISSN: 1824-2049

11. A. Sansonetti, M. Casati, E. Rosina, F. Gerenzani, N. Ludwig, M. Gondola, Innovative evaluation of the performances of water-repellent treatments by IR Thermography, In 6th international conference on water repellent treatment of building materials (pp. 1-10). AEDIFICATIO PUBLISHERS (2011).
12. Sansonetti A., Rosina E., Ludwig N., Moisture damage. **Materials evaluation** 69, 1 (2011): 41-46.
13. Bison, P., Cadelano, G., Capineri, L., Capitani, D., Casellato, U., Faroldi, P., Grinzato, E., Ludwig, N., Olmi, R., Priori, S. and Proietti, N., Limits and advantages of different techniques for testing moisture content in masonry. **Materials evaluation** 69, 1 (2011), 111-116.
14. M. Gargano, N. Ludwig, D. Pandini. Use of optical fiber in spectrometry and colorimetry with remote probes. In: **Journal of the international colour association**. - ISSN 2227-1309. (8 2012) pp.36-43.
15. Sansonetti, A., M. Casati, E. Rosina, F. Gerenzani, M. Gondola, and N. Ludwig. "Contribution of IR Thermography to the Performance Evaluation of Water Repellent Treatments." **Restoration of Buildings and Monuments** 18, 1, (2012): 13-22.
16. Ludwig, N., E. Rosina, S. Caglio, M. Gargano, and V. Redaelli. "Heat Diffusion in Klinker Facade: The Study Case of a Gio Ponti Building." **Advances in Optical Technologies** (2012).
17. N.G. Ludwig, M. Gargano, D. Formenti, D. Bruno, L. Ongaro, G. Alberti (2012). Breathing training characterization by thermal imaging: a case study. **Acta of bioengineering and biomechanics**, vol. 14, p. 41-47, (2012). ISSN: 1509-409X,
18. D. Formenti, N. Ludwig, M. Gargano, M. Gondola, N. Dellerma, A. Caumo, G. Alberti. *Thermal Imaging of Exercise-Associated Skin Temperature Changes in Trained and Untrained Female Subjects*. **Annals of biomedical engineering**, vol. 41, p. 863-871, ISSN: 0090-6964, doi:10.1007/s10439-012-0718-x
19. N. Ludwig. *Thermal Imaging in biological applications*. In Thermography, current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Publisher: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche - Brescia, Editors: F.Luzi, M.Mitchell, L. Nanni Costa, V. Redaelli, pp.27-40
20. N. Ludwig, D. Formenti, M. Gargano, G. Alberti. *Skin temperature evaluation by Infrared Thermography: comparison of Image Analysis Methods*. **Infrared physics & technology** 62, (2013), 1-6.
21. N. Ludwig, D. Formenti, A. Trecroci, M. Gargano, G. Alberti, *Comparison of Image Analysis Methods in Skin Temperature Measurements during Physical Exercise*. In: QIRT 2014: the 12. International Conference on Quantitative Infrared Thermography. p. 062.1-062.5, QIRT, Bordeaux, 2014
22. Redaelli V., N. Ludwig, L. Nanni Costa, L. Crosta, J. Riva, and F. Luzi. *Potential application of thermography (IRT) in animal production and for animal welfare. A case report of working dogs*. **Annali dell'Istituto superiore di sanità** 50, no. 2 (2014): 147-152.
23. Bonizzoni L., C. Canevari, A. Galli, M. Gargano, N. Ludwig, M. Malagodi, and T. Rovetta. *A multidisciplinary materials characterization of a Joannes Marcus viol (16th century)*. **Heritage Science** 2, no. 1 (2014): 15
24. N. Ludwig, M.P. Riccardi, L. Bonizzoni, M. Cantù, M. Gargano, F. Giacometti, *Scientific Analysis of the mural paintings of Aruch, Kobayr and Akhtalà*. In The Politecnico di Milano in Armenia. Venice, May 2014, OEMME Ed. ISBN 978-88-85822-42-9
25. Di Tuccio, M. C., Ludwig, N., Gargano, M., & Bernardi, A. (2015). *Thermographic inspection of cracks in the mixed materials statue: Ratto delle Sabine*. **Heritage Science** 3, (1), 10.
26. De Mattia, C., Veronese, I., Fasoli, M., Chiodini, N., Mones, E., Cantone, M.C., Cialdi, S., Gargano, M., Ludwig, N., Bonizzoni, L. and Vedda, A., 2015, August. Ionizing radiation detection by Yb-doped silica optical fibers. In *Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XVII* (Vol. 9593, p. 95931G). International Society for Optics and Photonics.
27. Gargano, M., Ludwig, N., Trecroci, A., Formenti, D., Bosio, A., Rampinini, E. and Alberti, G., 2015, September. *Skin temperature dynamics during an incremental maximal test in elite male cyclists*. In proc. Advanced Infrared Technology & Applications (pp. 111-113). Consiglio Nazionale delle Ricerche.
28. Ludwig, N., Formenti, D., Rossi, A., Trecroci, A., Gargano, M. and Alberti, G.,. *Assessing facial skin temperature asymmetry with different methods*. Proc. of QIRT the 13th. International Conference on Quantitative Infrared Thermography, Gdansk 2016.
29. Bonizzoni, L., Bruni, S., Galli, A., Gargano, M., Guglielmi, V., Ludwig, N., & Martini, M., *Non-invasive in situ analytical techniques working in synergy: the application on graduals held in the Certosa di Pavia*. **Microchemical Journal** 126 (2016): 172-180.

30. P. Fermo, M. Andreoli, L. Bonizzoni, M. Fantauzzi, G. Giubertoni, N. Ludwig, *Characterisation of Roman and Byzantine glasses from the surroundings of Thugga (Tunisia): raw materials and colours*, **Microchemical Journal** 126: 172-180
31. Formenti, D., Ludwig, N., Trecroci, A., Gargano, M., Michielon, G., Caumo, A., & Alberti, G., *Dynamics of thermographic skin temperature response during squat exercise at two different speeds*. **Journal of Thermal Biology**, 59, 58-63.
32. I. Veronese, E. Mones, G. Loi, S. Cialdi, M. Gargano, N. Ludwig, E. D'Ippolito, M. Fasoli, N. Chiodini, A. Vedda, *Characterization of ytterbium-doped silica optical fibre as scintillator dosimeter*, *Abstract/Physica Medica* 32, (2016), 251-273.
33. Gargano, M., Ludwig, N., Federighi, V., Sykes, R., Lodi, G., Sardella, A., Carrassi, A. and Varoni, E.M., 2016. *Fiber optics reflectance spectroscopy (45 x: 45) for color analysis of dental composite*. **American Journal Of Dentistry**, 29(4), pp.223-228.
34. Ludwig, N., Trecroci, A., Gargano, M., Formenti, D., Bosio, A., Rampinini, E. and Alberti, G., *Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists*. **Applied optics**, 55(34), pp.D126-D130.
35. M. Gargano, E. Rosina, C. Monticelli, A. Zanelli, and N. Ludwig, *Characterization of aged textile for archeological shelters through thermal, optical and mechanical tests*, **Journal of Cultural Heritage**, Volume 26, 2017, Pages 36-43, ISSN 1296-2074.
36. D. Formenti, N. Ludwig, A. Rossi, A. Trecroci, G. Alberti, M. Gargano, A. Merla, K. Ammer, A. Caumo, *Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the non-steady state induced by physical exercise*. **Infrared physics & technology** 81, (2017) 32-40.
37. Bonizzoni, L., Gargano, M., Ludwig, N., Martini, M. and Galli, A., *Looking for Common Fingerprints in Leonardo's Pupils Using Nondestructive Pigment Characterization*. **Applied Spectroscopy** 71, no 8 (2017) 1915-1926.
38. N. Ludwig, *Vapotranspiration in Biological System by Thermal Imaging*, in Application of infrared to biomedical sciences, Eddie YK Ng and M. Etehadtavakol editors, 2017, Springer, ISBN 978-981-10-3147-2, 417-428
39. Gambarini, G., Veronese, I., Bettinelli, L., Felisi, M., Gargano, M., Ludwig, N., Lenardi, C., Carrara, M., Collura, G., Gallo, S. and Longo, A., 2017. *Study of optical absorbance and MR relaxation of Fricke xylene orange gel dosimeters*. **Radiation Measurements** 106 (2017), 622-627.
40. Varoni E., Moltrasio M., Gargano, M., Ludwig, N., Lodi, G. and Scaringi, R., 2017. *Color Analysis of Periimplant Soft Tissues Focusing on Implant System: A Case Series*, **Implant dentistry** 26 (2), 217-224.
41. Gargano, M., Cavaliere, F., Viganò, D., Galli, A. and Ludwig, N., 2017. *A new spherical scanning system for infrared reflectography of paintings*. **Infrared Physics & Technology**, 81, pp.128-136.
42. Plutino, A., N. Richard, H. Deborah, C. Fernandez-Maloigne, and N. G. Ludwig. "Spectral Divergence for Cultural Heritage applications." In Color and Imaging Conference, vol. 2017, no. 25, pp. 141-146. Society for Imaging Science and Technology, 2017.
43. Varoni, E.M., Gargano, M., Ludwig, N., Lodi, G., Sardella, A., Carrassi, A., Lilaj, B., Franz, A., Dangi, V., Dauti, R. and Moritz, A., 2017. *Efficacy of an anti-discoloration system (ADS) in a 0.12% chlorhexidine mouthwash: A triple blind, randomized clinical trial*. **American journal of dentistry**, 30(5), pp.235-242.
44. Rossi, A., Formenti, D., Cavaggioni, L., Morgante, A., Caruso, P., Gargano, M., Ludwig, N., Merzagora, I. and Alberti, G., *Facial asymmetry in the resting state reflects anxiety status on young males. Laterality: Asymmetries of Body*, **Brain and Cognition** 23, (2018) no 4, pp. 462-478.
45. N. Ludwig, E. Rosina, A. Sansonetti, *Evaluation and monitoring of water diffusion into stone porous materials by means of innovative IR thermography techniques*, **Measurements** 118 (2018), , 348-353.
46. Bonizzoni, L., Bruni, S., Gargano, M., Guglielmi, V., Zaffino, C., Pezzotta, A., Pilato, A., Auricchio, T., Delvaux, L. and Ludwig, N., 2018. *Use of integrated non-invasive analyses for pigment characterization and indirect dating of old restorations on one Egyptian coffin of the XXI dynasty*. **Microchemical Journal**, 138, 122-131.
47. Galli, A., Gargano, M., Bonizzoni, L., Giorgione, C., Ludwig, N., Maspero, F., Orlandi, M., Zoia, L. and Martini, M., 2018. *A multidisciplinary investigation on a pair of Leonardesque canal lock gates*. **Microchemical Journal** 138 (2018), 408-417.

48. Melada, J., Gargano, M., Veronese, I. and Ludwig, N., 2018. Does electro-osmosis work in moisture damage prevention? Applicability of infrared-based methods to verify water distribution under electric fields. **Journal of Cultural Heritage**, 31, pp.S38-S45.
49. Rosina, E., Sansonetti, A. and Ludwig, N., 2018. Moisture: The problem that any conservator faced in his professional life. . **Journal of Cultural Heritage**, 31, pp.S1-S2
50. Formenti, D., Ludwig, N., Rossi, A., Trecroci, A., Alberti, G., Gargano, M., Merla, A., Ammer, K. and Caumo, A., 2018. Is the maximum value in the region of interest a reliable indicator of skin temperature? **Infrared Physics & Technology** 94 (2018), 299-304.
51. Gallo, S., P. Arosio, M. Avolio, L. Bonizzoni, M. Cobianchi, M. Gargano, N. Ludwig, F. Orsini, and I. Veronese. "Proprietà ipertermiche di markers fiduciali d'oro= Hyperthermia properties of gold fiducial markers." In *Congresso Nazionale AIFM*. AIFM, 2018.
52. Gallo, S., Cremonesi, L., Gambarini, G., Ianni, L., Lenardi, C., Argenti, S., Bettega, D., Gargano, M., Ludwig, N. and Veronese, I., 2018. Study of the effect of laponite on Fricke xylenol orange gel dosimeter by optical techniques. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 272, pp.618-625.
53. G.M. Liosi, G. Gambarini, E. Artuso, S. Benedini, E. Macerata, F. Giacobbo, M. Gargano, N. Ludwig, M. Carrara, E. Pignoli, and M. Mariani, Study on Characteristics of Fricke Xylenol Orange Gelatin Dosimeters, **IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE**, VOL. 65, NO. 9, SEPTEMBER 2018
54. Gallo, S., Arosio, P., Avolio, M., Bonizzoni, L., Cobianchi, M., Gargano, M., Ludwig, N., Orsini, F. and Veronese, I., 2018. 261. Hyperthermia properties of gold fiducial markers. **Physica Medica: European Journal of Medical Physics**, 56, 222-223.
55. Ludwig, N., Bonizzoni, L., Caccia, M., Cavaliere, F., Gargano, M., Viganò, D., Salvatore, C., Interlenghi, M., Martini, M. and Galli, A., *Giotto Unveiled: New Developments in Imaging and Elemental Analysis Techniques for Cultural Heritage. Toward a science campus in Milan*, 57-66. Springer 2018.
56. M. Gargano, A. Galli, L. Bonizzoni, R. Alberti, N. Aresi, M. Caccia, I. Castiglioni, M. Interlenghi, C. Salvatore, N. Ludwig, M. Martini, *The Giotto's workshop in the XXI century: looking inside the "God the Father with Angels" Gable*, **Microchemical Journal** 36, (2019), 255-263.
57. Carpineti, M., Cazzaniga, L., Perotti, L., Giliberti, M., Cavinato, M., & Ludwig, N. (2019). Embedding Physics into technology: Infrared thermography and building inspection as a teaching tool-a new participated strategy approach to the physics of heat transfer and energy saving for professional schools. **Canadian Journal of Physics**, doi.org/10.1139/cjp-2018-0554
58. S. Gallo, G. Gambarini, I. Veronese, S. Argenti, M. Gargano, L. Ianni, C. Lenardi, N. Ludwig, E. Pignoli, F. d'Errico, Does the gelation temperature or the sulfuric acid concentration influence the dosimetric properties of radiochromic PVA-GTA Xylenol Orange Fricke gels?. **Radiation Physics and Chemistry** 160, (2019), pp 35-40. doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.03.014

Volumi divulgativi o manuali:

- Milazzo M, Ludwig N. *Misurare l'arte*. CAMPUS MANUALI, vol. 1, Bruno Mondadori, Milano (2010), ISBN: 978-88-6159-372-5, ISSN: 1970-3619
- Ludwig N, Guerrerrio G.: *La scienza nel pallone. I segreti del calcio svelati con la fisica*. BOLOGNA, (2011). Zanichelli, ISBN: 9788808199751
- *La termografia teoria e applicazioni*, a cura di N. Ludwig, F. Luzi, R. Ricca, 2015, Point Veterinaire Italie.
- N. Ludwig, *Misurare l'arte Vol 2. Tecniche di datazione e di imaging per i Beni Culturali*, 2015 Youcanprint.
- N. Ludwig, e L. Bonizzoni, *Misurare l'arte Vol 1. Tecniche analitiche per i Beni Culturali*, 2016, Youcanprint.
- N. Ludwig, *Kelvin, il secondo principio della termodinamica*, ed. Grandangolo Corriere della sera, Vol. 36, giugno 2017.
- N. Ludwig, *Quaderni di fisica: L'energia*, ed. Corriere della sera, novembre 2018.