

### **Research Activity**

Giorgi's background is in physical chemistry of surfaces and colloids applied to the conservation of Cultural Heritage materials. The scientific production can be summarized in five different topics: (1) consolidation of wall paintings and application of nanotechnology in this field; (2) application of NMR tomography to the study of degradation processes in stones, plaster, and cement; (3) study of degradation phenomena in cellulose-based materials (paper, wood, textiles) and development of nanotechnology for deacidification; (4) development of microemulsions and micelle solutions for the removal of polymer resins from painted surfaces; (5) development of gelled systems (chemical gels), responsive to physical and chemical stimuli, for the cleaning of delicate surfaces.

Giorgi has worked from September 1995 to November 1996 for his Chemistry Degree on the subject "Calcium hydroxide suspensions: applications in the conservation of cultural heritage", with Prof. Luigi Dei as advisor, and Prof. Enzo Ferroni as co-advisor. In his work he presented remarkable results concerning a new methodology based on the application of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  for consolidation of wall paintings and stone. This work originated an Italian Patent. Giorgi is extending such activity up today. Actually, calcium hydroxide is probably the best solution for reinforcement of wall paintings, since it is physico-chemically compatible and it is the 'original' binder used by artists.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nanoparticles were synthesized through different methods to obtain stable nonaqueous dispersion of particles with different average size, cristallinity, size distribution, and polydispersity. Calcium hydroxide stable dispersions were successfully applied, instead of organic glues, as fixatives to re-adhere lifted paint layers during important restoration workshops in different countries (Mexico, Spain, France, Sweden, US, Israel, Argentina, and others).

Giorgi got the Ph.D. degree, in February 2000, in Science for the Conservation of Cultural Heritage for a study on "Application of NMR tomography to the study of the structure and physico-chemical properties of stone materials used in cultural heritage". The research project has been performed in collaboration with prof. Bruno Maraviglia and his team at the Magnetic Resonance Laboratory of department of Physics at the University "La Sapienza", in Rome.

The decay's processes affecting stones and the effects of restoration treatments were investigated by Nuclear Magnetic Resonance techniques. High resolution imaging techniques and water proton ( $^1\text{H}$ ) relaxation rates were particularly studied. NMR exploits the magnetic properties of nuclei (hydrogen in water) under an external high magnetic field. By studying the time length needed for the spin system magnetization to reach the equilibrium value, after a selected perturbation obtained by a radio-frequency pulses sequence, information on the energy exchanges between the system and its surroundings was obtained. The porous structure and the interface properties were investigated in a not destructive way. Changes induced by protection treatments based on polymer resins were obtained for fluid saturated samples. In addition, pulse sequences were used to obtain high-resolution 2D-images of water distribution inside low porous materials, which plays a crucial role in most of the decay processes.

In the framework of a fellowship at the department of Chemistry, University of Florence, with a research programme entitled "Physico-chemical study of interface features of artistically and historically relevant porous materials" (Advisor is Prof. Baglioni), Giorgi developed an innovative methodology for paper deacidification based on nonaqueous dispersions of alkaline nanoparticles.

Many different techniques and products have been studied or developed in order to eliminate acidity from paper. Unfortunately, up to now the problem is far to be satisfactorily solved, and the specialists are looking for new products capable of annulling the acidity present in paper. Calcium, magnesium, and barium hydroxide aqueous solutions have been widely used for

many decades, but, unfortunately, they had often induced not desirable side effects, because of their strong alkaline conditions, which promotes cellulose depolymerization. Several non-aqueous deacidification processes have also been proposed. Even though appreciable results are obtained, some disadvantages are longer to be overcome, specially concerning the used solvents, which are environmentally unfriendly. Despite its scarce usage, calcium hydroxide is an excellent deacidifying agent. Calcium hydroxide is physico-chemically friendly to paper and, once converted to calcium carbonate, works efficiently as alkaline reservoir. Calcium hydroxide nanoparticles dispersed in alcohol offers an innovative solution for paper deacidification. The used solvents are environmentally friendly. Moreover, as non-aqueous dispersion, it could be applied by different techniques, as brushing or spraying, providing excellent results.

In the last decade, nanostructured fluid, such as o/w microemulsions and micelle solutions for the removal from painted surfaces of polymer resins, used as consolidants and protectives in past restorations, have been largely investigated. Nanostructured fluids ensure low aggressiveness with respect to the original components of the painted layer, due to the presence of water as a dispersing medium that remained in direct contact with the hydrophilic surface of the wall painting. Formulations specifically tailored for the removal of paraloid B72, primal AC33, and mowilith DM5 resins were developed. Both micelles and swollen micelles work as nanocontainers of solvents (to obtain o/w systems) that can dissolve polymers to achieve a complete removal from the surface and the porosity of the works of art. The detergency capability mainly depends on the very large surface area of micelles and nanodroplets available for interaction with the polymer coating. The water-based system reduces the penetration into the artifact porous matrix that occurs with organic solvents and the associated polymer redissolution into the artifact but also reduces the toxicity of the formulation, offering better and faster performance than pure organic solvents.

Novel hydrogels to be used for the cleaning of delicate artworks surfaces have been investigated since 2012. In particular, innovative physical and chemical gels, with high water retention capability, high responsiveness to external stimuli, and suitable mechanical properties, were developed. The high solvent retention capability and the specific mechanical properties of these gels allow the safe cleaning of artifacts, even including water-sensitive substrates. In fact, the cleaning action is limited to the contact surface, and the complete removal of soil is achieved while avoiding solvent spreading and absorption within the substrate. In particular, the use of gels based on semi-interpenetrating (IPN) polymer networks provides great advantages because these gels are able to load water-based detergent systems, such as micellar solutions and microemulsions, which are effective in removing synthetic adhesives and highly hydrophobic detrimental materials. The combination of semi-IPN polymer networks with these detergents allows the cleaning of sensitive substrates such as canvas paintings and manuscripts. More recently, new formulations based on PVA were used to obtain through freeze-thawing cycles, strong gel with excellent mechanical properties for the cleaning of very delicate and morphologically rough surfaces. In the framework of the EU Nanorestart Project, such formulations have been used for the cleaning of masterpieces by Pollock, Picasso from the Peggy Guggenheim collection in Venice and by Roy Lichtenstein from Tate Gallery.

Giorgi joined several **national and international projects**: the EU project NANORESTART (H2020), INNOVACONCRETE (H2020), and NANOFORART (EU 7th); the regional projects TEMART and TECON; and the international programmes for cooperation, funded by the Italian MIUR and MAE, with universities and institutions in Mexico and India.

Giorgi was also involved in several **conservation projects**: the Proyecto Arqueológico Calakmul, for the conservation of the UNESCO site of Calakmul (Mexico); the Programa Nacional de Conservación de Pintura Mural Prehispánica - INAH (Istituto Nacional de

Antropologia e Historia, Mexico), addressed to the conservation of Tlatelolco, Cholula, Mayapan, Cacaxtla, and Tamuín archaeological sites; The Saving Oseberg project, University of Oslo & Museum of Cultural History in Norway; The Vasa project in Sweden; The Conservation programme of the Holy House in Nazareth (Israel).

Rodorigo Giorgi is author of about 160 publications in international journals in the field of nanoscience applied to conservation of cultural heritage. Some of these publications were reviewed by Consultant Editors of Nature, and published as highlights in Nature News ("Nanotechnology restores flaking frescos", "Nanotechnologies for conservation of cultural heritage: paper and canvas deacidification", "Art restoration: Keeping it clean", "Magnets harnessed to clean artwork").

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7752-4107>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006417440>

### **Teaching activities**

Giorgi teaches classes at the University of Florence for the 1st and 2nd level degree in Conservation Science. Since 2009 till 2012 he was member of the PhD board in Science for the Conservation of Cultural Heritage; since 2013 till now is member of the PhD board in Chemical Sciences. Giorgi was advisor of 6 PhD students and 114 graduates.

### **Attività e produzione scientifica**

L'attività scientifica di Rodorico Giorgi si svolge nell'ambito della chimica fisica dei sistemi dispersi e delle interfasi, con particolare riferimento alle problematiche del degrado di sistemi porosi di interesse artistico ed architettonico e dello sviluppo di nuovi materiali per il restauro. L'attività di ricerca in questo settore è stata avviata durante il periodo di lavoro di tesi per il conseguimento della laurea in Chimica (Settembre 1995-Novembre 1996), svolto presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Firenze, sotto la supervisione scientifica del prof. Enzo Ferroni e del prof. Luigi Dei.

Nel corso degli anni Giorgi ha proseguito il lavoro di ricerca di nuove procedure di sintesi di molteplici tipologie di nanofasi inorganiche di interesse per il consolidamento di matrici lapidee architettoniche. A partire dal 2003, Giorgi si è dedicato allo sviluppo di metodologie basate sulle nanoscienze per interventi conservativi sul patrimonio artistico ed archeologico messicano, nell'ambito di accordi bilaterali con l'Universidad Autonoma de Mexico (UNAM), l'Instituto Nacional de Antropologia y Historia (INAH), il coordinamento Nazionale CNCPC, la Scuola Nazionale ENCRYM, ed il Museo Nazionale di Antropologia di Città del Messico. Nell'ambito del dottorato di ricerca in Scienza per la Conservazione dei Beni Culturali, sono state studiate le potenziali applicazioni della tomografia NMR per lo studio della struttura e delle proprietà chimico-fisiche di materiali lapidei porosi di interesse artistico ed architettonico. Il lavoro di ricerca è stato svolto in collaborazione con il gruppo di ricerca del prof. Bruno Maraviglia presso il laboratorio di Risonanza Magnetica Nucleare del Dipartimento di Fisica dell'Università "La Sapienza" di Roma, dove Giorgi ha trascorso diversi periodi di studio e ricerca, nell'ambito di un progetto nazionale di ricerca dal titolo "Nanoscienze per lo sviluppo di nuove tecnologie" (diretto dal Prof. Piero Baglioni).

Già a partire dal 2002, Giorgi si è occupato dello studio del degrado di materiali cellulosici, con particolare attenzione alla problematica della deacidificazione di materiale cartaceo (librario ed archivistico). A tale scopo sono state studiate, in particolare, le potenziali applicative di sistemi nanofasici quali agenti efficaci per la neutralizzazione dell'acidità presente. In seguito, il lavoro si è allargato allo studio dei diversi manufatti a base cellulosica, quali le fibre tessili ed il legno. Nell'ambito di un progetto di cooperazione con The National Maritime Museum di Stoccolma sono state sviluppate soluzioni per il trattamento di legno archeologico sommerso del vascello *Vasa*. Una parte dell'attività di ricerca nell'ambito dei materiali cellulosici, è stata dedicata allo studio del degrado di fibre tessili. Tale studio si è inserito all'interno di un progetto più ampio di indagine e restauro dell'intera opera di Giovanni Fattori conservata presso la Galleria d'Arte Moderna di Firenze in Palazzo Pitti. Giorgi si è occupato dello studio del degrado chimico-fisico della tela, allo scopo di determinare lo stato di conservazione in cui si trovano le fibre attualmente; contestualmente sono state studiate soluzioni per la protezione a lungo termine delle fibre stesse.

A partire dal 2006, l'attività di ricerca è stata rivolta alla formulazione ed allo studio delle proprietà strutturali e dinamiche di sistemi nanostrutturati a base di tensioattivi (soluzioni micellari e microemulsioni), nonché' alla loro applicazione nel campo della conservazione dei beni culturali come agenti di pulitura innovativi per superfici pittoriche di interesse storico-artistico. Questa attività di ricerca si è principalmente incentrata sulla preparazione e caratterizzazione chimico-fisica di sistemi micellari e microemulsivi di tipo o/w per la rimozione di materiali polimerici da superfici dipinte. Negli ultimi anni l'attività di ricerca è stata invece orientata allo sviluppo, preparazione e caratterizzazione di sistemi gelificati ad altissima ritenzione, di tipo chimico e responsivo a stimoli fisici e chimici. La ricerca di nuovi sistemi gelificati per la pulitura di superfici ha dilatato gli interessi di ricerca di Giorgi ai

manufatti metallici, in particolare al bronzo. Per tali applicazioni sono stati sviluppati sistemi peelable capaci di azione complessante.

Giorgi ha conseguito l'Abilitazione Scientifica Nazionale nella tornata 2016 al ruolo di Professore di prima fascia nei settori concorsuali 03/A2 e 03/A1 (SSD CHIM/12).

La produzione scientifica nel periodo 2000-2021 (160 prodotti complessivi) comprende novantacinque articoli (ISI/Scopus), una monografia, ventuno contributi su monografie/capitoli di libri, quarantuno conference paper/proceedings e tre contributi su riviste nazionali.

### **Partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali**

Giorgi ha partecipato a numerosi progetti di ricerca internazionali e nazionali, anche finanziati sulla base di bandi competitivi che ha previsto la revisione tra pari:

- PRIN 2009: Tecniche diagnostiche innovative e materiali nanostrutturati per la conservazione dei beni culturali (durata 24 mesi).
- INNOVACONCRETE - Innovative materials and techniques for the conservation of 20th century concrete-based cultural heritage (H2020- 760858; NMBP-35-2017), 2018-2021.
- APACHE - Active & intelligent PACKaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of Cultural Heritage (SEP-210512792, H2020-NMBP-ST-IND-2018-2020).
- NANOFORART (FP7-ENV-NMP-2011/282816): Nanomaterials for the conservation and preservation of movable and immovable artworks (durata 36 mesi); periodo: 2011-2014.
- NANORESTART (Progetto EU H2020): "NANomaterials for the RESToration of works of ART"; periodo: 2015-2018.
- TEMART: Tecniche avanzate per la conoscenza materica e la conservazione del patrimonio storico artistico (durata 24 mesi); progetto della Regione Toscana finanziato sui fondi POR FESR 2007-2013. Referente scientifico dell'unità di ricerca; periodo: 2010-2012.
- TECON@BC: Tecnologie innovative per la conservazione e la valorizzazione dei Beni Culturali (durata 24 mesi); progetto della Regione Toscana finanziato sui fondi POR FESR 2007-2013; periodo: 2010-2012.
- Programma MIUR per l'incentivazione del processo di internazionalizzazione del sistema universitario: Nanotecnologie per la conservazione del patrimonio artistico ed archeologico delle civiltà mesoamericane (durata 36 mesi); periodo: 2006-2009.
- Fondi per la ricerca scientifica d'Ateneo (ex 60%) anno 2010: Proprietà strutturali e dinamiche di sistemi nanostrutturati ed implicazioni tecnologico-applicative (durata 12 mesi).
- Fondi per la ricerca scientifica d'Ateneo (ex 60%) anno 2011: Fluidi nanostrutturati per la pulitura di superfici artistiche ed architettoniche e loro confinamento in sistemi gelificati ad alta ritenzione (durata 12 mesi). Responsabile di U.O..
- MAE (Ministero Affari Esteri) 2008-2010 - *Executive programme of scientific and technological cooperation between the Italian Republic and the Republic of India: Microbiological analysis of biofilms on stone artefacts and their conservation by chemically and biologically synthesized nanomaterials* (durata 24 mesi).
- Partecipazione al *Programa Nacional de Conservación de Pintura Mural Prehispánica* – INAH (Istituto Nacional de Antropologia e Historia - Mexico), finalizzato alla conservazione dei siti di Tlatelolco (Distretto Federale), Cholula (Puebla), Mayapan (Yucatán), Cacaxtla (Tlaxcala), Bonampak (Chiapas) e Tamuín (San Luis Potosí); posti sotto la consulenza tecnico/scientifica del CSGI/UNIFI. Periodo: 2010-2012.
- Partecipazione al *Proyecto Arqueologico Calakmul*, progetto di conservazione del sito UNESCO di Calakmul, INAH-Campeche (Mexico). A partire dal 2004.

- Partecipazione al programma *Saving Oseberg*, University of Oslo & Museum of Cultural History, Oslo (Norvegia). Periodo: 2013-2015.
- Partecipazione al programma di conservazione della Casa Santa di Nazareth (Israele); progetto di cooperazione tra la Custodia di Terra Santa ed il Centro di Ateneo per I Beni Culturali CaBeC (Firenze). Periodo: 2008-2013.

### **Attività didattica**

Giorgi svolge dall'a.a. 2004/2005 attività di insegnamento presso l'Università di Firenze, in corsi di studio triennali e magistrali di discipline del settore scientifico disciplinare CHIM/12. In particolare, nei corsi di studio di classe 43 e 11-M.

Dal 2009 al 2012 (cicli XXIV-XXVIII) ha partecipato al collegio docenti del corso di dottorato in Scienza per la conservazione dei beni culturali. A partire dal 2013 (ciclo XXIX-ad oggi) è invece membro effettivo del collegio docenti del corso di dottorato in Scienze chimiche.

Complessivamente Giorgi è stato relatore di 6 tesi di dottorato e di 114 tesi di Laurea di primo livello e secondo livello (specialistica e magistrale).

### **Terza Missione**

Giorgi ha attivamente partecipato allo sviluppo, l'impiego e la commercializzazione di alcuni brevetti e di iniziative finalizzate al trasferimento tecnologico dei risultati delle ricerche condotte. In particolare, in data 27 Maggio 2008, e' stato registrato il marchio **Nanorestore**® per la formulazione a base di nanoparticelle di idrossido di calcio disperso in alcool isopropilico per il consolidamento di pitture murale (oggetto della tesi di laurea). Tale prodotto è oggi commercializzato dalla ditta C.T.S. (Altavilla Vicentina, Italia), azienda multinazionale leader nella distribuzione di prodotti per il restauro, con la quale è stato stipulato un contratto di distribuzione nell'Aprile 2008. In data 3 Maggio 2011 è stato registrato il marchio **Nanorestore Paper**® relativo ad una formulazione a base di nanoparticelle alcaline disperse in mezzo non acquoso per i trattamenti di deacidificazione di materiale cartaceo [Brevetto PCT (PCT/EP02/00319); Baglioni, P., Dei, L., Giorgi, R., Schettino, C.V. "Basic suspension, its preparation and process for paper deacidification", depositato il 15 Gennaio 2002]. Successivamente il brand 'Nanorestore' e' stato arricchito da altri marchi, **Nanorestore Cleaning**® e **Nanorestore Gel**®. Attualmente tale attività è svolta in seno a CSGI. Il portale (<http://www.csgi.unifi.it/products/products.html>), attraverso cui è gestita l'attività di produzione e distribuzione di prodotti innovativi basati sulle nanoscienze, è stato creato sotto gli auspici della Commissione Europea, includendo i risultati dei progetti NANOFORART e NANORESTART. Giorgi ha contribuito a tale realizzazione sin dal suo concepimento e svolge tuttora attività di management scientifico.