



istec

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici

**Le attività dell' Istituto  
di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici  
del CNR**



*The activities of the **Institute of  
Science and Technology for Ceramics**  
CNR—National Research Council of Italy*



istec

National Research Council of Italy

Institute of Science and Technology for Ceramics

Faenza, Maggio 2014





Via Granarolo 64  
48018 Faenza (RA) Italia  
Tel. +39 0546 699711  
Fax +39 0546 699719

[istec@istec.cnr.it](mailto:istec@istec.cnr.it)  
[www.istec.cnr.it](http://www.istec.cnr.it)

Direttore: **Alida Bellosi**

Si ringrazia tutto il personale  
*Thanks to all staff*

Published by CNR ISTEK

Diritti riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa in ogni possibile forma o per ogni mezzo elettronico, meccanico, foto riprodotto, senza preliminare permesso scritto del CNR ISTEK

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher*

Una nuova verità scientifica non trionfa perché i suoi oppositori si convincono e vedono la luce,  
quanto piuttosto perché alla fine muoiono,  
e nasce una nuova generazione a cui i nuovi concetti diventano familiari!

Max Planck

2

*A scientific truth does not triumph by convincing its opponents and making them see the light,  
but rather because its opponents eventually die  
and a new generation grows up that is familiar with it.*

Max Planck

# Indice      *Summary*

Presentazione.....	4
<i>Introduction.....</i>	5
ISTEC e la sua storia - <i>ISTEC and his Hystory.....</i>	6
Ricerca - <i>Research.....</i>	7
Personale- <i>Staff.....</i>	8
Attività Scientifica e Tecnologica: - <i>Scientific and Technological activity:</i>	
<b>HIGH TECH: applicazioni industriali, costruzioni, aerospazio, trasporti.....</b>	9
<b><i>HIGH TECH: applications in industry, constructions, aerospace, transport</i></b>	
<b>NANOTECNOLOGIA E FUNZIONALIZZAZIONI.....</b>	24
<b>NANOTECHNOLOGY &amp; FUNCTIONALIZATIONS</b>	
<b>ENERGIA E AMBIENTE.....</b>	35
<b>ENERGY &amp; ENVIRONMENT</b>	
<b>BIOMATERIALI PER LA NANOMEDICINA E LA RIGENERAZIONE DEI TESSUTI .....</b>	49
<b>BIOMATERIALS FOR NANOMEDICINE AND REGENERATIVE MEDICINE</b>	
<b>PATRIMONIO CULTURALE.....</b>	62
<b>CULTURAL HERITAGE</b>	
Unità di ricerca all'ISTEC: Commesse e moduli.....	66
<i>Scientific Organization Structure</i>	
Progetti Europei – <i>European Projects.....</i>	67
I Laboratori dell'ISTEC - <i>Laboratories at ISTECE.....</i>	68
Principali ruoli amministrativi e servizi.....	69
<i>Main Roles of Administration and Services</i>	
Istruzione & Formazione - <i>Education &amp; Training .....</i>	70
Servizi alle imprese - <i>Range of services .....</i>	71
Attività con finanziamento pubblico Collaborazioni nazionali e internazionali....	72
<i>Public funded projects, National and international Network</i>	
Tecniche Analitiche e Competenze - <i>Analytical Techniques &amp; Expertises .....</i>	73
Processi - <i>Processes .....</i>	74
Strumentazioni- <i>Scientific Instruments.....</i>	75
Eventi Organizzati da ISTEC- <i>Events organized by ISTECE.....</i>	76

## Presentazione - Uno strumento per conoscere l'ISTEC-CNR

Ecco pronto il secondo volume degli Highlights del CNR ISTEC – Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici: questa pubblicazione riporta la sintesi del patrimonio di conoscenze ed attività relative agli anni 2012-2013, ed ha lo scopo di illustrare il lavoro e le competenze del personale che qui opera e le potenzialità e il ruolo dell' Istituto in ambito nazionale e internazionale.

Sfogliando questa rassegna è possibile trovare una descrizione sintetica della varietà e vitalità scientifica di questo Istituto che, sorto quasi mezzo secolo fa come piccolo gruppo di ricerca annesso alla Scuola Statale d'Arte per la Ceramica di Faenza con attività sui materiali ceramici argillosi, è poi cresciuto sull'onda dell'evoluzione internazionale in materia di nuovi materiali e delle richieste di innovazione in svariati settori industriali.

ISTEC ha così ampliato le sue tematiche di ricerca verso i grandi argomenti che fanno riferimento alle più moderne tecnologie abilitanti su cui convergono le politiche comunitarie nonché gli indirizzi ministeriali per la ricerca e sviluppo.

Attualmente, ISTEC afferisce al Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali e si configura come l'unica struttura di ricerca del CNR, e la più grande struttura italiana operante nel paese con programmazione poliennale, specificamente indirizzata allo studio globale dei materiali ceramici. Le attività dell'Istituto, coerentemente alla missione del CNR, riguardano attività di ricerca, iniziative di sostegno alla formazione, alla valorizzazione e disseminazione dei risultati.

Le attività di ricerca sono indirizzate all'innovazione di materiali e processi in risposta alle emergenti esigenze del comparto industriale, scientifico e culturale, per i vari settori applicativi. Gli argomenti spaziano dallo studio di base e caratterizzazione di materie prime e di materiali, allo sviluppo e innovazione di processi di produzione. Scopo degli studi è il controllo di proprietà e prestazioni di dispositivi ceramici tramite il controllo del processo e l'ingegnerizzazione dei materiali per specifiche applicazioni. Attraverso lo sviluppo di nuovi processi, nanotecnologie incluse, vengono ingegnerizzati e sviluppati nuovi materiali e proposte soluzioni per modificare anche prodotti tradizionali e dotarli di nuove funzioni e prestazioni.

In questa rassegna, i temi, molto differenti tra loro, sono divisi per facilità di lettura in cinque grandi settori:

4

**Applicazioni industriali ad alta tecnologia**  
**Funzionalizzazione delle superfici attraverso nanotecnologie ceramiche**  
**Biomateriali per la nanomedicina e la rigenerazione dei tessuti**  
**Energia e ambiente**  
**Patrimonio culturale**

I contributi descritti testimoniano la complessità di questo Istituto e la varietà e molteplicità delle tematiche oggetto dei programmi di ricerca. Per offrire al lettore una visione complessiva delle dotazioni di laboratorio e delle potenzialità si include una sintesi delle competenze sui processi, sulle caratterizzazioni e sulle misure delle proprietà dei materiali.

Nella parte finale della pubblicazione si riporta l'articolazione della struttura di ricerca interna all'ISTEC secondo l'organizzazione CNR in commesse e moduli.

Viene poi menzionato in sintesi l'ambito relazionale: le collaborazioni nazionali e internazionali, i servizi per le aziende che si configurano oggi organizzati in un sistema di gestione di qualità, come richiesto dalla Regione Emilia-Romagna.

ISTEC costruisce e alimenta rapporti di collaborazione con qualificate istituzioni internazionali e si pone come valido interlocutore verso l'industria, pronto a intercettare i fabbisogni di conoscenza delle imprese manifatturiere dell'intera filiera ceramica e delle aziende di altri settori che applicano i componenti e i dispositivi innovativi sviluppati seguendo specifici requisiti.

Desideriamo far conoscere questo Istituto e dare il giusto riconoscimento al lavoro di chi, tra le mille difficoltà che la ricerca vive nel nostro paese, riesce a produrre nuova conoscenza di elevata qualità.

Sono doverosi i ringraziamenti a tutto il personale dell'ISTEC per lo spirito costruttivo e la professionalità con cui opera. Una menzione speciale ai giovani che, pur nell'incertezza che il precariato comporta, riescono comunque a seguire percorsi formativi di eccellenza e a rispondere alle esigenze della ricerca con competenza, dedizione e con l'entusiasmo che l'età favorisce.

Grazie per l'attenzione

Alida Bellosi  
Direttore ISTEC-CNR

## Introduction

### A tool to know ISTE-CNR

*This is the second volume aiming to show the Highlights of the activities at ISTE-CNR (Institute of Science and Technology for Ceramics) and to illustrate the work and the skills of the staff and the Institute's potential and role at national and international level.*

*Leafing through this review, there is a summary description of the variety and vitality of this scientific Institution, founded nearly half a century ago as a small research group attached to the State School for the Ceramics Arts in Faenza and specialized on clay-based ceramic materials. The Institute then grew following the evolution of the international developments on new materials and requests for materials innovation of various industrial sectors.*

*ISTEC has thus expanded its research areas to the major themes that refer to the latest enabling technologies on which the European policies and guidelines for research and development converge.*

*Currently, ISTE-C, belonging to the CNR Department of Chemical Science and Materials Technology, is the only CNR structure in Italy with long-term research programs on the whole range of ceramic materials.*

*The Institute's activities, consistent with the mission of the National Research Council of Italy, deal with research and initiatives to support training, exploitation and dissemination of results.*

*Research activities are directed to innovation in materials and processes in response to the emerging needs of industry, science and culture, in the various fields of application. Topics range from the basic study and characterization of powders and materials, to the development and innovation of production processes. The aim of the studies is the control of properties and performance of devices using ceramic process control and engineering of materials for specific applications. Through the development of new processes, including nanotechnology, new materials are developed and engineered and new solutions are proposed to innovate traditional products and also to provide them with new functions and new performances.*

*This booklet presents the results of the years 2012-2013, with reference to five major areas:*

***High-technology Industrial Applications,***

***Functionalization of Surfaces by Nano-ceramics,***

***Biomaterials for Nanomedicine and Regenerative Medicine,***

***Energy and Environment,***

***Cultural Heritage.***

*The topics reviewed evidence the complexity of this Institution and the variety and multiplicity of themes covered by the research programs.*

*To give the reader an overview of the laboratory facilities and capabilities, a summary of the processes and skills of characterizations and measurements of material properties is included.*

*In the final part of the publication we report the list of the Research Groups, according to CNR organization.*

*A survey of the relational network is shown: national and international collaborations, business services configured in a system of quality management that certifies the laboratory according to the Institutional Accreditation of industrial research laboratories in Emilia-Romagna. In this respect, ISTE-C builds and grows relationships with international institutions of excellence and qualifies itself as a suitable partner to industry, ready to elaborate the needs of knowledge of the whole supply chain of ceramics manufacturing enterprises and of companies applying innovative ceramic components and devices.*

*We wish to make known this Institution and give the due recognition to the work of those who, notwithstanding the many difficulties that research in our country lives, dedicate their efforts to produce new knowledge of high quality.*

*A due thanks to all ISTE-C staff for the constructive spirit and the professionalism with which it operates.*

*A special mention to young researchers who, despite the uncertainty of their job position, however, decide to follow training of excellence and to meet the needs of research with competence, dedication and the enthusiasm that their age involves.*

*Thanks for your attention*

*Alida Bellosi*

*ISTEC-CNR Director*

## ISTEC e la sua storia

L'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (CNR-ISTEC) si configura come l'unica struttura di ricerca del Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR, e la più grande struttura italiana con programmazione poliennale, specificamente indirizzata allo studio globale dei materiali ceramici.

Le attività dell'ISTEC riguardano attività di ricerca, iniziative di sostegno alla formazione, alla valorizzazione e disseminazione dei risultati, ai servizi alle imprese.

Il Personale consta di 40 dipendenti di ruolo CNR e altre 15-20 unità di personale temporaneo a vario titolo: assegnisti, contrattisti, ospiti stranieri, dottorandi, tirocinanti e studenti.

ISTEC nasce nel 1965 a Faenza, definita, per tradizione culturale, Città delle Ceramiche. Il suo nome, nella versione francese Faïence, ha infatti qualificato nei secoli un prodotto artistico unico e di prestigio. Faenza, culla della tradizione d'arte ceramica, vuole anche testimoniare il proprio primato nel campo della cultura scientifica, della ricerca, della tecnologia e dell'innovazione. Obiettivo è coniugare Arte e Scienza.

Il richiamo a Torricelli è di obbligo, perché a questo scienziato si lega l'origine di ISTEC. A questa mente brillante, strettamente legata alla città di Faenza e le cui scoperte hanno segnato una svolta nelle conoscenze scientifiche dell'epoca moderna, è doveroso un tributo.

Il filo che da Torricelli conduce al CNR ISTEC si snoda attraverso la grande esposizione torricelliana che ebbe luogo nel 1908 nell'ex-convento di San Maglorio a Faenza, per celebrare il trecentesimo anniversario della nascita del grande matematico. Questo evento, grazie alle donazioni degli espositori, per opera di Gaetano Ballardini, segnò la nascita nel 1912 del Museo Internazionale delle Ceramiche, che ancora oggi si qualifica per la completezza delle collezioni ceramiche, dal periodo precolombiano ai nostri giorni, come uno dei primi al mondo. Negli anni successivi lo stesso primo e geniale studioso di ceramiche antiche, Gaetano Ballardini, fondò anche la Scuola d'Arte per la Ceramica, il più prestigioso ed antico istituto italiano di istruzione superiore, specificatamente dedicato alla scienza e tecnologia delle ceramiche artistiche ed industriali. Proprio all'interno dell'Istituto Statale d'Arte per la Ceramica, nel 1965, ha origine la storia dell'attuale ISTEC, come Gruppo di Ricerca, sotto la direzione del fondatore, il Dott. Tonito Emiliani, al tempo anche Direttore dello stesso Istituto. Nel 1970 il Dott. Emiliani condusse l'espansione del Gruppo di Ricerca a Centro di Ricerca. Nel 1975 il Centro di Ricerca fu ampliato a Laboratorio, cui fu assegnata una sede propria, parte di quella attuale. Nel 1980 il Laboratorio fu trasformato in Istituto, denominato Istituto di Ricerche Tecnologiche per la Ceramica - IRTEC, nome che è rimasto fino all'inizio del 2002.

Nel 2002 l'Istituto, a seguito della riforma del CNR, è diventato "Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici"- ISTEC. Inizialmente, l'Istituto fu indirizzato allo studio dei ceramici tradizionali.

Nel proprio processo di crescita il CNR-ISTEC, recependo il modificarsi degli interessi scientifici a livello internazionale e, tenuto conto della situazione nazionale, ha destinato sempre crescenti risorse al settore dei ceramici avanzati.

ISTEC ha subito una forte crescita a livello internazionale ed è stato al centro di iniziative di sviluppo e innovazione a livello Europeo, nazionale, regionale e locale, grazie soprattutto alla lunga e illuminata direzione del Dott. Gian Nicola Babini, a cui siamo riconoscenti per la crescita della struttura e la visibilità e il rilievo che questo Istituto ha acquisito nella comunità scientifica internazionale dei settori attinenti ai materiali ceramici e materiali innovativi.

## ISTEC & its history

*The National Research Council of Italy (CNR) is a public organization; its duty is to carry out, promote, spread, transfer and improve research activities in the main sectors of knowledge growth and of its applications for the scientific, technological, economic and social development of the Country.*

*The Institute of Science and Technology for Ceramics (CNR ISTEC) is the only CNR structure in Italy with long term activity programs on the whole range of ceramic materials.*

*Following CNR's mission, the following activities are carried out: reserch, technology innovation and exploitation of results and education.*

*ISTEC was founded in 1965 as a Research Group, in Faenza, which, on account of its cultural tradition, has been called the Town of Ceramics for a very long time.*

*Faenza lies 50 km to the South East of Bologna and is known mainly for its ceramics having always played a very important role in this field. In fact its name, which in French is Faïence, over the centuries has defined a particularly prestigious type of ceramic ware.*

*In 1970 the Research Group became a Research Center, in 1975 a Laboratory, in 1980 an Institute, and, since then, according to the main research topics at the time, the activities were focused on conventional ceramics.*

*Stimulated by the growing interest at international level and new demands of the market on advanced ceramics, ISTEC devoted the main part of its activity on these materials.*

*ISTEC has undergone strong growth internationally and has been at the center of development and innovation initiatives at European, national, regional and local level, mainly due to the long and enlightened leadership of Dr. Gian Nicola Babini, whom we are grateful to, for the growth of structure and the visibility and importance that this institution has acquired within the international scientific community of ceramics and new materials.*



Dr. Gian Nicola Babini (1944-2012)  
ISTEC Director from 1985 to 2008



## RICERCA

La ricerca presso ISTECC è indirizzata all'innovazione di materiali e processi in risposta alle emergenti esigenze del comparto industriale, scientifico e culturale nazionale ed internazionale, nei diversi settori che richiedono l'applicazione di materiali e dispositivi ceramici.

Come naturale aspirazione, l'Istituto costituisce il punto in cui le conoscenze relative alla scienza dei materiali incontrano la domanda di tecnologia e, attraverso i risultati di progetti di ricerca di base o applicata, si traducono in applicazioni industriali di rilievo. Grazie alla particolare posizione nel contesto scientifico nazionale ed internazionale, evidenziata fin dalla sua costituzione e consolidata con il prosieguo degli anni, ISTECC ha visto sempre più rafforzato il proprio ruolo di promotore della ricerca in vari segmenti del mercato.

La ricerca rappresenta per ISTECC lo strumento principale per accumulare il patrimonio di conoscenze indispensabili per dare risposte non solo alle richieste attuali, ma anche alle domande ad oggi non ancora formulate e che è compito della ricerca stessa stimolare.

Scopo delle ricerche condotte presso ISTECC è la progettazione di materiali ceramici di diversa natura con proprietà chimico-fisiche controllate e prestazioni innovative, ottenuti attraverso un'accurata ingegnerizzazione delle strutture e uno stretto controllo dei processi. Ciò viene perseguito partendo dallo studio di base e dalla caratterizzazione di materie prime e formulazioni, attraverso l'ottimizzazione di processi per la sintesi delle polveri, la formatura e la sinterizzazione di materiali e componenti sia densi che porosi, a forma semplice o relativamente complessa, caratterizzati da microstruttura e proprietà controllate.

Le principali tematiche di ricerca e i materiali sviluppati possono essere raggruppati nelle seguenti aree principali:

High Tech  
Nanotecnologie  
Bioceramici  
Energia e Ambiente  
Beni Culturali

All'interno di ciascuna di esse, tenuto conto delle competenze tecnico-scientifiche e della domanda esterna – anche attraverso la partecipazione a programmi nazionali ed internazionali con accesso ai finanziamenti resi disponibili – si concretizzano precisi e specifici programmi di ricerca.

Per conseguire gli obiettivi di volta in volta programmati, il personale conduce le attività in una struttura articolata per la sua alta specializzazione in laboratori di sintesi, studio di processi, caratterizzazione e misura delle prestazioni dei prodotti.

## RESEARCH

*The research at ISTECC is mainly devoted to material and process innovation to give an answer to the emerging requirements of industrial, scientific and cultural districts, at national and international level, in the different sectors concerning applications of ceramic materials and devices.*

*Following its tradition, the Institute can be considered as the merging point where the knowledge about material science meets technology requests and, through the results coming from basic and applied research projects, is translated into industrial relevant realizations.*

*Thanks to this particular position on the national and international scientific scenario, highlighted since its constitution and strengthened during the years, ISTECC role became even more topical as research promoter in the different market sectors.*

*At ISTECC the research represents a fundamental tool in order to increase the essential knowledge to give answer not only to the current market requirements but also to the not already formulated questions which should be stimulated by the research itself.*

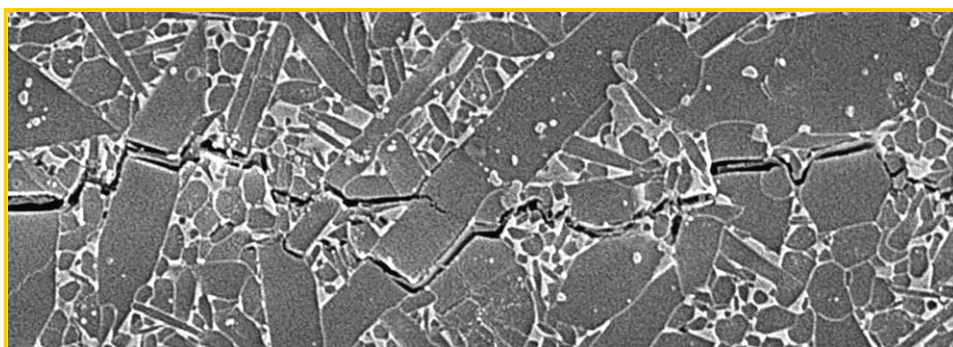
*The objective of research at ISTECC is the design of materials having controlled chemico-physical properties as well as innovative performances, obtained through a careful engineering of structures and a strict control of processes. This can be reached starting from the basic study and characterization of raw materials and mixtures, passing through the process optimization of powders' synthesis, forming and sintering of both dense and porous materials, with a simple or more complex shape, presenting controlled textures and properties.*

*The main research lines and related developed materials can be grouped in the following macroareas:*

High Tech  
Nanotechnologies  
Bioceramics  
Energy and Environment  
Cultural Heritage

*In the framework of each activity, making provision of technical scientific competences and external requirement – also through the participation to national and international research programs with access to financial resources – specific research programs are developed.*

*In order to get the scheduled aims, staff makes use of a well organised structure, which comprehends highly specialized laboratories for synthesis, processing, characterization and measurement of products properties and performances.*



**PERSONALE**

30.4.2014

**STAFF****Direttore****Director**

Bellosi Alida

**Ricercatori *Researchers***

Biasini Valentina  
 Blosi Magda  
 Costa Anna Luisa  
 De Portu Goffredo  
 Dondi Michele  
 Esposito Laura  
 Galassi Carmen  
 Gardini Davide  
 Gualtieri Sabrina  
 Landi Elena  
 Macchiarola Michele  
 Medri Valentina  
 Miccio Francesco  
 Monteverde Frédéric  
 Raimondo Mariarosa  
 Ruffini Andrea  
 Sandri Monica  
 Sanson Alessandra  
 Sciti Diletta  
 Silvestroni Laura  
 Sprio Simone  
 Tampieri Anna  
 Zanelli Chiara

**Tecnici *Technicians***

Capiani Claudio  
 Dalle Fabbriche Daniele  
 Guarini Guia  
 Melandri Cesare  
 Mercadelli Elisa  
 Piancastelli Andreana  
 Pinasco Paola

**Ospiti *Guests Researchers***

Cardarelli Aurora  
 Natali Murri Annalisa  
 Vodopivec Ivor  
 Ghetti Martina

**Amministrativi *Administration***

Capozzo Liborio  
 Carpanelli Nicola  
 Ciani Barbara  
 Manzari Anika  
 Montaleone Francesco  
 Valli Anna Rita

**Personale a contratto *Temporary Staff*****Ricercatori *Researchers***

Adamiano Alessio<sup>°</sup>  
 Ballardini Alberto\*  
 Bendoni Riccardo\*  
 Boveri Giulio  
 Ciuchi Ioana\*  
 Dapporto Massimiliano\*  
 Delpivo Camilla\*  
 Fernandes Patricio Tatiana Marisa\*  
 Galizia Pietro\*  
 Gondolini Angela<sup>°</sup>  
 Hostasa Jan\*  
 Iafisco Michele<sup>°</sup>  
 Mazzocchi Mauro  
 Minardi Silvia\*  
 Montesi Monica<sup>°</sup>  
 Ortelli Simona\*  
 Panserì Silvia<sup>°</sup>  
 Papa Elettra\*  
 Pienti Laura\*  
 Ramírez Rodríguez Gloria Belén\*  
 Sangiorgi Alex  
 Sangiorgi Nicola\*  
 Savini Elisa\*  
 Soragni Elena\*  
 Veronesi Federico\*  
 Zoli Luca<sup>°</sup>

\* PhD Students    ° Post-Docs

**Amministrativi *Administration***

Demarinis Milena  
 Mengozzi Laura





**HIGH TECH**

## Ceramici ultra-refrattari per applicazioni spaziali, industriali e nell'energia

## Ultra-high temperature ceramics for space, industrial and energy applications

Responsabili scientifici: **Frederic T. Monteverde** [frederic.monteverde@istec.cnr.it](mailto:frederic.monteverde@istec.cnr.it), **Diletta Sciti** [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Daniele Dalle Fabbriche, Valentina Medri, Cesare Melandri, Laura Silvestroni, Stefano Guicciardi

I metalli di transizione del IV-V gruppo come Ti, Zr, Hf, Ta formano boruri e carburi che vengono definiti ceramiche ultra-refrattari (UHTCs) per il loro punto di fusione tra 3000 e 4000 K. Questi composti sono contraddistinti da:

- punti di fusione elevatissimi
- alta durezza
- elevata conduttività termica ed elettrica
- buona resistenza all'ossidazione
- resistenza meccanica ad alta temperatura

che li rendono unici per svariate applicazioni in ambienti estremi, e specialmente nell'aero-spazio, come:

- coni di prua e bordi alari d'attacco
- superfici di controllo per veicoli ipersonici e/o di rientro
- inserti per ugelli di razzi
- componenti per sistemi di propulsione forzata in aria
- assorbitori solari

ISTEC è una realtà istituzionale scientifica costantemente protagonista a livello nazionale, europeo ed internazionale, e che porta avanti da almeno 15 anni attività di ricerca e sviluppo sugli UHTC anche nell'ambito di progetti finanziati (ad es. ESA, ASI, CIRA, Thales-Alenia, Compagnia Generale dello Spazio e Ministero della Difesa). ISTEC collabora da tempo con U.S. Air Force Scientific Head Office, U.S. National Science Foundation, Shanghai Institute of Ceramics (Cina), PROMES-CNRS (Fr), INO-CNR, Ing. Aerospaziale – Univ.Napoli Federico II, etc.

Le attività scientifiche sono focalizzate su:

**Processi innovativi per fabbricazione** di materiali bulk densi o porosi, compositi rinforzati con fibre, whiskers, piattine o carbonanotubi;

**Caratterizzazioni avanzate:** caratterizzazione termomeccanica ad alta temperatura, comportamento atermico (in collaborazione), caratterizzazione TEM ad alta risoluzione, caratterizzazione ottica (in collaborazione);

**Design e fabbricazione di prototipi** su scala di laboratorio.

*IV and V group transition metals, like Ti, Zr, Hf, Ta, form borides and carbides that belong to a class of materials defined as Ultra-High Temperature Ceramics (UHTCs) for their high melting points between 3000 and 4000 K.*

*These compounds possess a set of characteristics:*

- extremely high melting point
  - high hardness
  - high electrical and thermal conductivity
  - good resistance to oxidation
  - high retained strength at high temperature
- which make them unique for several applications in extreme environment, especially for the aerospace:*
- nose cones and leading edges
  - control surfaces for hypersonic (reentry) vehicles
  - rocket nozzle inserts
  - air-augmented propulsion system components
  - bulk solar absorbers

*ISTEC is an institutional scientific center of excellence continuously involved at national, european and international level, which is being leading for at least 15 years R&D programs on UHTCs, very often funded by major stakeholders like ESA, ASI, CIRA, Thales-Alenia, CGS, and Ministry of Defence. ISTEC also holds stable relationships with U.S. Air Force Scientific Head Office, U.S. National Science Foundation, the Shanghai Institute of Ceramics (China), PROMES-CNRS (Fr), INO-CNR, Dept. Aerospace Engineering, Univ of Naples Federico II, etc.*

*Scientific activities concern:*

- **Innovative processing** for fabrication of dense or porous bulks, composites with fibers, whiskers, platelets, CNT;
- **Advanced characterization:** high temperature thermo-mechanical, aero-thermal behaviour study (in collaboration), high resolution-TEM characterization, optical properties at room and high temperature (in collaboration);
- **Design and fabrication of lab-scale prototypes.**

### Relevant Publications

- D. Sciti, L. Silvestroni, V. Medri, F. Monteverde, "Sintering and densification of ultra-high temperature ceramics", in: Ultra-High Temperature Ceramics: Materials for Extreme Environment Applications, eds W. Fahrenholtz, et Al, ISBN 0-471-9781118700785 Copyright © 2014 Wiley, Inc
- F. Monteverde, D. Alfano, R. Savino, "Effects of LaB<sub>6</sub> addition on arc-jet convectively heated SiC-containing ZrB<sub>2</sub>-based ultra-high temperature ceramics in high enthalpy supersonic airflows", Cor. Sci. 75 (2013) 443-453.
- F. Monteverde, R. Savino, "ZrB<sub>2</sub>-SiC Sharp Leading Edges in High Enthalpy Supersonic Flows", J.Am.Ceram.Soc. (2012) 1-8.
- L. Silvestroni, D. Sciti, "Oxidation behavior of ZrB<sub>2</sub> composites doped with various transition metal silicides", Cor. Sci. (2014) 83 281-291.
- D. Sciti, S. Guicciardi, L. Silvestroni, "Are short Hi-Nicalon SiC fibers a secondary or a toughening phase for UHTCs", Mater. Des. 55 (2014) 821.
- L. Silvestroni, D. Sciti, "TEM analysis, mechanical characterization and oxidation resistance of a highly refractory ZrB<sub>2</sub>-composite", J. Alloys Compd. 602 (2014) 346-355.

### Relevant Projects

- Project «PROTECT» - Advanced Thermal Protections with sharp profile for extreme environments (PNRM – Ministry of Defense).
- Project «NSF-CNR - Dual ceramic composites for improved properties» (Joint program CNR-ISTEC and MS&T, USA).
- Air Force Office for Scientific Research (AFOSR) research contracts FA8655-09-M-4002 (2009-2010) and FA8655-12-1-3004 (2011-2014): "High resolution Transmission Electron Microscopy on UHTCs".
- Project «SMARP» - Ultra-ablation resistant ceramics for application in propulsion (PNRM – Ministry of Defense).
- Project «LIGHT-TPS» - Super light-weight thermal protection system for space application (EU co-financed, FP7-SPACE-2013-1).



Ceramic holder for tests in space missions

## Ultra-ablation resistant ceramics for propulsive application

New generation thrusters demand always increasing severe combustion conditions, in terms of temperature and pressure, in order to enhance their performances.

Materials based on carbides of the early transition metals, such as zirconium, hafnium and tantalum, are promising systems for these applications, combining physical properties of ceramics and electronic properties of metals: high melting points (> 3900°C), high hardness and modulus, high thermal conductivity especially at elevated temperature.

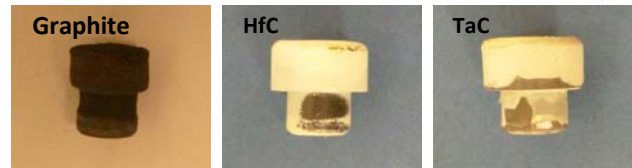
Ablation tests conducted in conditions relevant for the application revealed that ultrarefractory carbides have a superior resistance compared to graphite actually employed in rocket nozzles.

Collaborations: Department of Industrial Engineering – Aerospace Section (DIAS) - University of Naples “Federico II”, Italy.

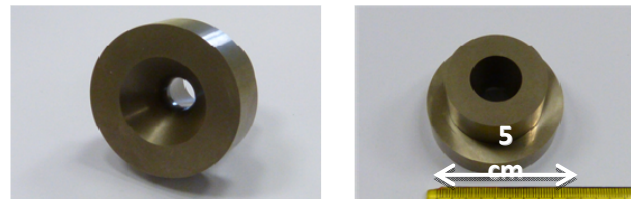
Projects:

2012-2014: “Development of ultra-ablation resistant ceramics for application in the propulsion” Piano Nazionale Ricerca Militare - Italian Ministry of Defence

Ablation resistance



Ablation tests on simple shaped prototypes conducted at DIAS: comparison between graphite, HfC and TaC



TaC nozzle prototype fabricated at ISTE

Concept of Segmented Nozzle: ceramic throat and graphite exterior



Contact

Diletta Sciti, [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)

Laura Silvestroni, [laura.silvestroni@istec.cnr.it](mailto:laura.silvestroni@istec.cnr.it)

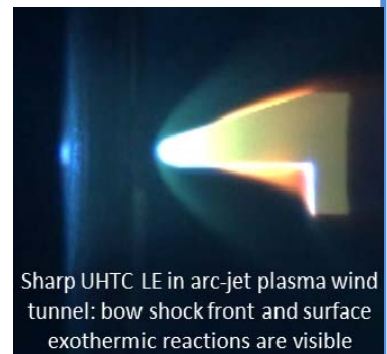
HIGH TECH

11

## Massive UHTCs for the sharp leading edge technology

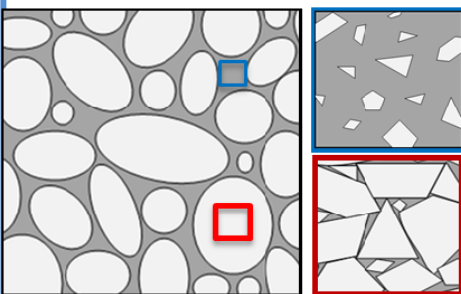
The ultra-high temperature ceramics (UHTC) have been drawing great interest of the materials engineers involved in designing thermal protection structures and control surfaces for the **sharp leading edge technology**. Sharp leading edges (LE) for reentry vehicles or hypersonic space-crafts are two leading examples: thanks to this new concept, improved flight performances together with more safety for the crew, larger cross-range, wider launch windows, and safer landing for aborted flight plans can be achieved. Ceramic composites based on  $MB_2$  (M=Zr, Hf) combine thermal stability at high temperatures together with an outstanding ability to effectively transfer heat, making them currently among the most studied systems.

The oxidation resistance of pure  $MB_2$  is poor for the intended applications, so that appropriate refinements of the basic compositions must be necessarily addressed to fit the expected requirements.



Sharp UHTC LE in arc-jet plasma wind tunnel: bow shock front and surface exothermic reactions are visible

Although some UHTCs demonstrated room temperature flexure strength up to 1GPa, a lack of damage tolerance typical of brittle ceramics still needs to be fixed. The development of tougher and oxidation resistant massive UHTC can be pursued through the achievement of a “composite inside a composite”. Such a special architecture, known as Dual-Composite (DC), provide damage tolerant and strong structural ceramics.



«DC» microstructural architecture concept

ISTEC has collaborated in R&D research programs led by ASI, ESA, CIRA, Thales-Alenia Space, C.G. Space, Ministry of Defense and was recently selected for an international Joint Project CNR-NSF.



Nose cone

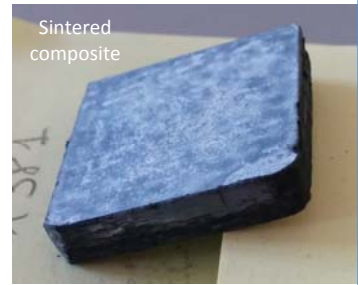
Contact

Frédéric Monteverde

[frederic.monteverde@istec.cnr.it](mailto:frederic.monteverde@istec.cnr.it)

## Fiber reinforced ceramics for extreme environments

Although research has successfully produced UHTCs with flexural strength up to 1 GPa, fracture toughness and thermal shock resistance still represent major concerns for the application of these ceramics in aerospace or in highly stressed environments. To address these issues, novel processing methods have been implemented to introduce elongated reinforcements (such C or SiC fibers) into UHTC-based matrices.



### Short fiber reinforced composites:

A simple technology is applied to obtain reinforced Ceramics using conventional powder milling techniques and sintering.

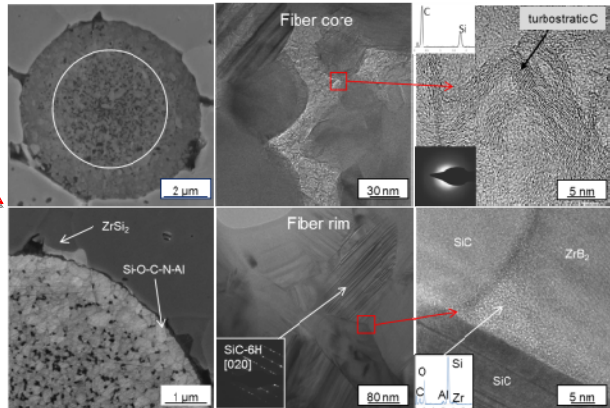
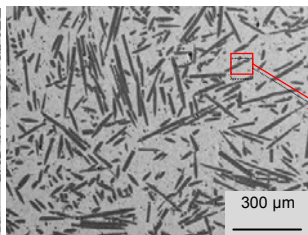
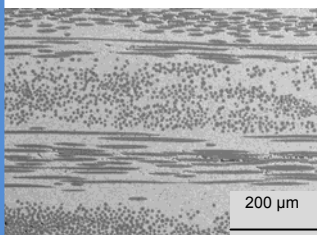
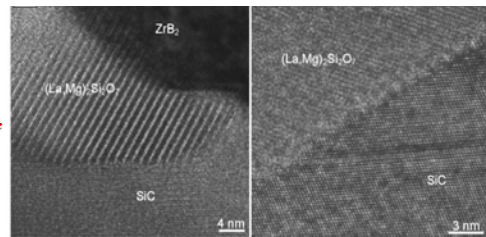
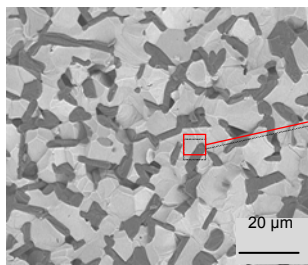
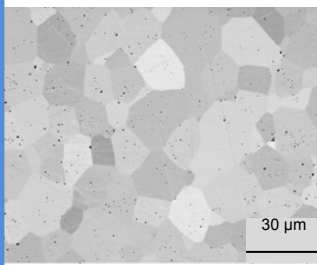
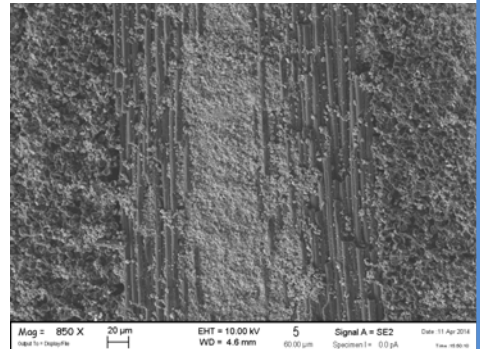
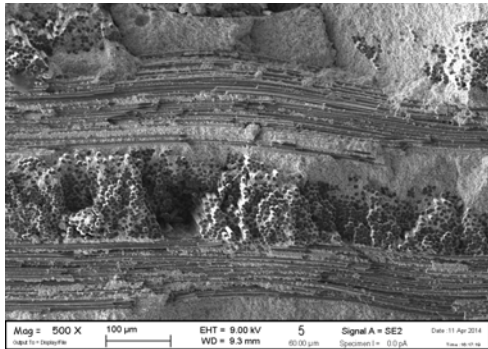
### Continuous fiber reinforced:

Different technologies such as infiltration, lamination, sintering are combined to obtain incorporation of long fibers into UHTC matrices.

### Contact

Diletta Sciti, [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)  
 Laura Silvestroni, [Laura.silvestroni@istec.cnr.it](mailto:Laura.silvestroni@istec.cnr.it)  
 Valentina Medri, [valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it)

Microstructural features of continuous fiber reinforced composites



Bulk UHTC

UHTC+ SiC platelet

UHTC-fiber composite

UHTC+ SiC fiber



## Ultra refractory solar absorbers for CSP systems

Solar thermal technology is a safe sustainable and cost-effective energy supply. Presently, the maximum operating temperature of a solar power plant is <800 K due to degradation of its components. However, efficiency of solar thermal power plants increases with increasing working temperatures. Hence, the problem to be solved is the improvement of the receiver in terms of radiative properties and chemical stability at high temperature.

Ultra High Temperature Ceramics (e.g. borides and carbides of early transition metals) are considered a class of promising materials for application in the aerospace as thermal protection materials. A novel potential application is in the field of solar thermal power, as solar absorbers. UHTCs possess favorable properties (very high melting points and good thermo-mechanical properties at high temperatures and intrinsic selectivity) that can be advantageously exploited to increase the operating temperature of thermodynamic solar plants in concentrating solar power systems. ISTEC develops dense and porous UHTCs ceramics and studies the optical properties in collaboration with INO-CNR.

### Funded projects:

National projects: FIRB project SUPERSOLAR “Assorbitori Ceramici Ultra-refrattari per generazione di energia dal solare termodinamico ad altissima temperatura».

European project: STAGE-STE “Scientific and Technological Alliance for Guaranteeing the European Excellence in Concentrating Solar Thermal Energy”, Grant agreement no: 609837

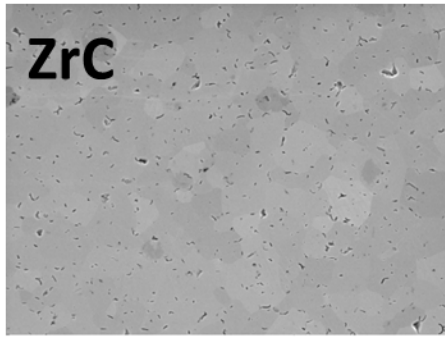
### Contact

Diletta Sciti, [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)

Laura Silvestroni, [laura.silvestroni@istec.cnr.it](mailto:laura.silvestroni@istec.cnr.it)

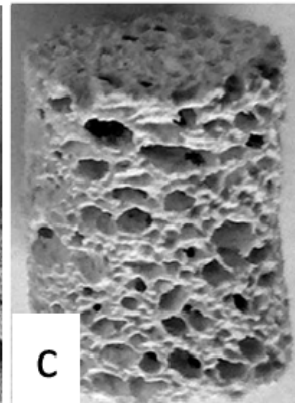
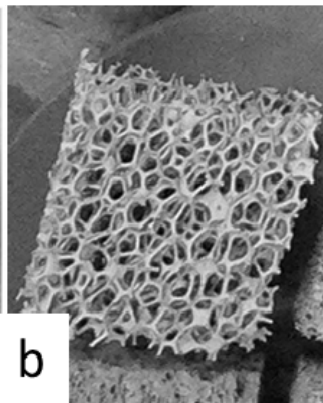
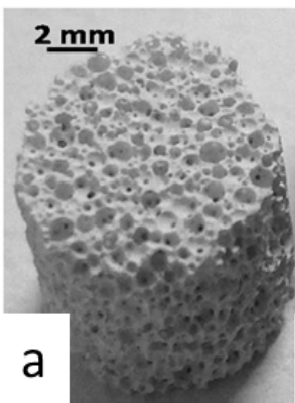
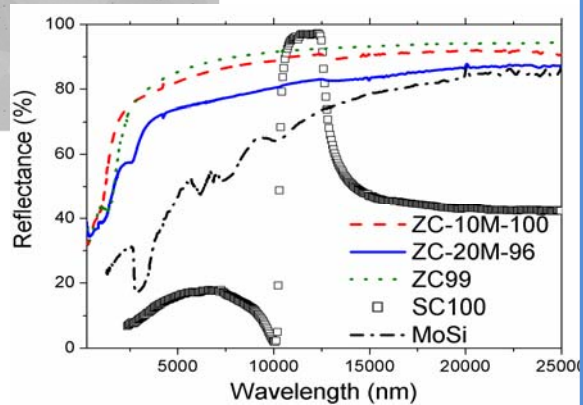
Valentina Medri, [valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it)

Elena Landi, [elena.landi@istec.cnr.it](mailto:elena.landi@istec.cnr.it)



Dense mirror-like polished materials

Reflectance spectra collected at INO-CNR for ZrC, SiC and MoSi2



Highly porous ceramics prepared using (a) direct foaming, (b) and (c) replica technology, d) freeze casting

**Ceramici compositi e monolitici strutturali**

**Ceramic monolithics and composites**

Responsabile scientifico: **Diletta Sciti** [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Alida Bellosi, Daniele Dalle Fabbriche, Goffredo de Portu, Mauro Mazzocchi, Valentina Medri, Cesare Melandri, Laura Silvestroni, Stefano Guicciardi

Con lo sviluppo di **compositi ceramici** si ha la possibilità di progettare e produrre materiali che soddisfino diverse tipologie di requisiti:

- 1) specifiche funzioni elettriche
- 2) elevata lavorabilità
- 3) miglioramento delle proprietà meccaniche (resistenza e tenacità a frattura)

L'aggiunta di una fase **elettro-conduttiva** (ceramica, intermetallica o metallica), in quantità di almeno il 30% in volume, conferisce un'elevata conduttività elettrica a ceramici dielettrici (ad. esempio allumina, nitruro di silicio o di alluminio, carburo di silicio).

Tra i compositi studiati all'ISTEC vi sono:

- $Si_3N_4$ -TiN,  $Si_3N_4$ - $MoSi_2$
- SiC-AlN- $MoSi_2$ ,
- $Al_2O_3$ -TiC,  $Al_2O_3$ - $TiB_2$ ,  $Al_2O_3$ -TiN,  $Al_2O_3$ -Mo,  $Al_2O_3$ -NiAl.

L'aggiunta di una fase secondaria "**lubrificante**" come il BN (esagonale) consente anche un'elevata lavorabilità meccanica. L'associazione di funzioni elettriche a quelle termiche e meccaniche rende questi materiali idonei per riscaldatori, accenditori e componenti a resistività elettrica controllata.

I Compositi metallo-ceramica - Cermet (a base di TiCN-WCNi-Co e metalli duri WC-Co sono invece studiati come utensili per lavorazioni meccaniche.

Di tutti i materiali oggetto di studio sono valutati:

- il comportamento in sinterizzazione;
- le caratteristiche microstrutturali;
- il comportamento a ossidazione e corrosione;
- le proprietà elettriche e termo-meccaniche al variare della composizione;
- Prestazioni tribologiche.

*The development of ceramic composites that are electrical conductors and display good high-temperature structural properties is of great interest for a wide range of applications. Composites made of insulating ceramics (such as alumina, silicon nitride, aluminum nitride, silicon carbide) and variable amounts of electroconductive phases (metallic, intermetallic or ceramic) can fulfill these requirements.*

*The following composites are produced and studied at ISTEC:*

- $Si_3N_4$ -TiN,  $Si_3N_4$ - $MoSi_2$
- AlN-SiC- $MoSi_2$ , AlN-SiC-ZrB<sub>2</sub>, AlN-SiC-ZrC,
- $Al_2O_3$ -TiC,  $Al_2O_3$ - $TiB_2$ ,  $Al_2O_3$ -TiN,  $Al_2O_3$ -Mo,  $Al_2O_3$ -NiAl.

*These composites are currently employed in applications as heaters, igniters. The addition of a "lubricant" secondary phase such as h- BN allows high machinability.*

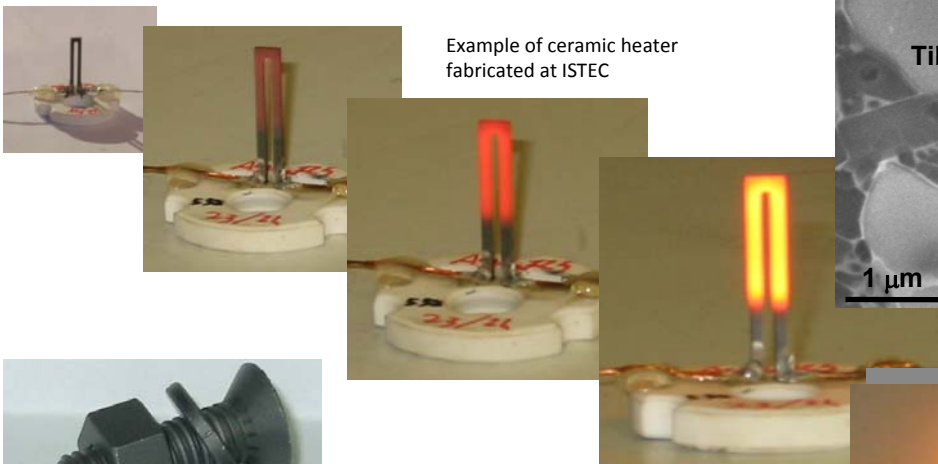
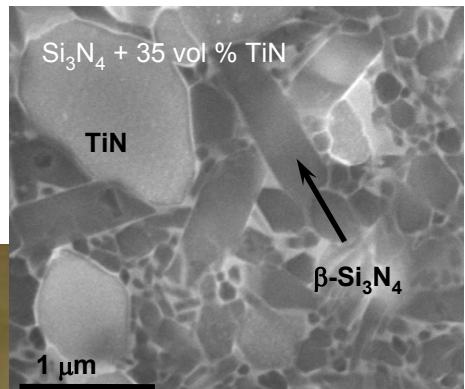
*Cermet (ceramic-metal composites) based on TiCN-WC-Ni-Co and WC-Co hard metals are also studied as cutting tools.*

*Ceramic-ceramic composites are studied to improve toughness, strength and wear resistance.*

*The following characteristics are investigated:*

- sintering behaviour
- microstructure
- electrical resistivity
- oxidation and corrosion behaviour
- thermo-mechanical properties at room and high temperature
- wear performance

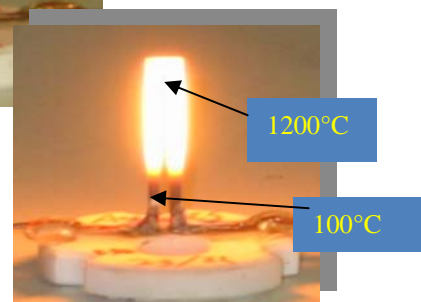
Typical microstructure of electroconductive ceramic



Example of ceramic heater fabricated at ISTEC



Example of complex shape obtained by EDM- electrical discharge machining- of electroconductive ceramic





**Ceramics trasparenti: Spinello  $MgAl_2O_4$** **Transparent ceramics: Spinel  $MgAl_2O_4$** 

Responsabile scientifico: **Laura Esposito** [laura.esposito@istec.cnr.it](mailto:laura.esposito@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Andeana Piancastelli, Daniele Dalle Fabbriche, Jan Hostasa

Lo spinello cubico isotropo  $MgAl_2O_4$  può essere considerato come l'ideale materiale ceramico trasparente.

E' di importanza strategica nel settore aerospaziale per numerose applicazioni in condizioni estreme come ad esempio per le finestre trasparenti soggette a condizioni di esercizio in ambienti corrosivi o di forti sollecitazioni termiche e meccaniche.

Presso ISTEC è stato ottimizzato un processo di produzione di componenti a base di spinello con una trasmittanza che raggiunge l'82 % (la trasmittanza teorica è pari all'86 %).

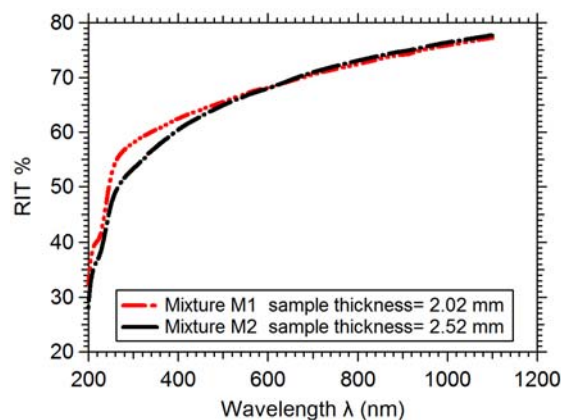
*Cubic isotropic  $MgAl_2O_4$  spinel can be regarded as an almost ideal transparent ceramic material.*

*It is an attractive material in the aerospace sector for several applications under severe conditions such as hard front layer in transparent protection and rugged optical windows operating in harsh environment.*

*At ISTEC we optimized the production process of spinel components with an in-line transmittance up to 82 % close to the theoretical value of 86 %.*



$MgAl_2O_4$  spinel sample prepared by hot pressing



Spinel in-line transmittance

### Main Publications and Congress Contributions

- L. Esposito, A. Piancastelli and S. Martelli, "Production and characterization of transparent  $MgAl_2O_4$  prepared by hot pressing", *J. Eur. Ceram. Soc.*, 33 (2013) 737–747
- L. Esposito, A. Piancastelli, P. Miceli, S. Martelli, "A thermodynamic approach to obtaining transparent spinel ( $MgAl_2O_4$ ) by hot pressing", submitted to *Acta Materialia*, Apr. 2014
- S. Martelli, L. Esposito, A. Piancastelli, «Production and characterization of transparent  $MgAl_2O_4$  prepared by hot pressing», 10th CMCEE May 20-23, 2012 Dresden, Germany
- S. Martelli, L. Esposito, A. Piancastelli, D. Dalle Fabbriche, «Improvements on the fabrication of transparent  $MgAl_2O_4$  prepared by hot pressing», presented at ECerS XIII, Limoges, June 2013.

### Relevant Projects

Contracts with industries on the development and characterization of spinel prototypes and components

## Ceramici trasparenti: Granato di ittrio e alluminio (YAG)

## Transparent ceramics: Yttrium Aluminium Garnet (YAG)

Responsabile scientifico: **Laura Esposito** [laura.esposito@istec.cnr.it](mailto:laura.esposito@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Jan Hostasa, Andeana Piancastelli, Daniele Dalle Fabbriche

Lo YAG YAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) policristallino drogato con elementi delle terre rare (REE) è un materiale funzionale strategico come sorgente laser per laser allo stato solido di alta potenza pompato a diodi (DPSSL).

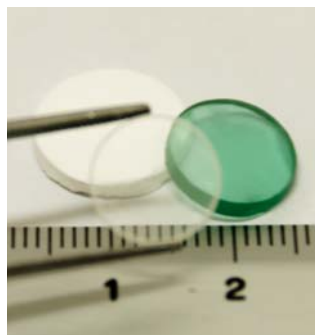
Rispetto ai cristalli singoli generalmente utilizzati, i ceramici YAG trasparenti possono dare origine a nuove applicazioni laser in quanto:

- Posso contenere più elevati tenori di drogaggio
- Sono più veloci da produrre
- Possono essere fabbricati anche in forme complesse

*Polycrystalline YAG ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) doped with rare earth elements (REE) is a strategic functional material as laser source for high power Diode Pumped Solid State Lasers (DPSSL).*

*Compared to the more commonly used single crystals, transparent YAG ceramic can widen the laser applications:*

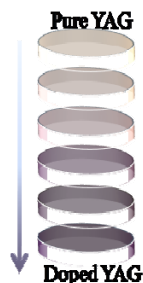
- It can be highly doped*
- It is faster to produce*
- It can be shaped in complex architectures.*



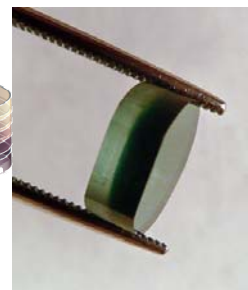
Yb- doped YAG



Nd-doped YAG



Layered pure–Yb-doped YAG



### Main Publications

- P. Ferrara, M. Ciofini, L. Esposito, J. Hostaša, L. Labate, A. Lapucci, A. Pirri, G. Toci, M. Vannini, L. A. Gizzi, "3-D numerical simulation of Yb:YAG active slabs with longitudinal doping gradient for thermal load effects assessment", *Optics Express*, 22, 5, 5375-5386 (2014)
- M. Serantoni, A.L. Costa, C. Zanelli and L. Esposito, "Crystallization behavior of Yb-doped and undoped YAG nanoceramics synthesized by microwave-assisted urea precipitation", *Ceramics International*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.04.018>
- Jan Hostaša, Jiří Matějčiček, Benoit Nait-Ali, David S. Smith, Willi Pabst, Laura Esposito, "Thermal properties of transparent Yb – doped YAG ceramics at elevated temperatures", in press in *Journal of the American Ceramic Society*, Nov. 2013
- A.Lapucci, M.Ciofini, L.Esposito, P.Ferrara, L.A.Gizzi, J.Hostaša, L.Labate, A.Pirri,"Characterization of Yb:YAG active slab media based on a layered structure with different doping" , *Proc. SPIE 8780*, High-Power, High-Energy, and High-Intensity Laser Technology; and Research Using Extreme Light: Entering New Frontiers with Petawatt-Class Lasers, 87800J (May 7, 2013), doi:10.1117/12.2017380
- L. Esposito, A. Piancastelli, Y. Bykov, S. Egorov, A. Ereameev, "Microwave Sintering of Yb:YAG Transparent Laser Ceramics", *Optical Materials*, 35 (2013) 761–765
- J. Hostaša, L. Esposito, D. Alderighi, A. Pirri , "Preparation and Characterization of Yb – doped YAG Ceramics", *Optical Materials*, 35 (2013) 798–
- E. Cavalli, L. Esposito, J. Hostaša, "Synthesis and optical spectroscopy of transparent YAG ceramics activated with Er<sup>3+</sup>", *J. Eur.Ceram.Soc.*, 33 [8] 1425 -1434 (2013)
- T. Epicier, G. Boulon, W. Zhao, M. Guzik, B. Jiang, A. Ikesue and L. Esposito, "Spatial distribution of the Yb<sup>3+</sup> rare earth ions in Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> and Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> optical ceramics as analyzed by TEM", *J. Mat. Chem.*, 2012, 22, 18221-18229.
- L. Esposito, T. Epicier, M. Serantoni, A. Piancastelli, D. Alderighi, A. Pirri, G. Toci, M. Vannini, S. Anghel, G. Boulon, "Integrated analysis of non-linear loss mechanisms in Yb:YAG ceramics for laser applications", *J. Eur. Ceram. Soc.*, 32 [10] 2012, 2273-2281.
- J. Hostaša, L. Esposito and A. Piancastelli, "Influence of Yb and Si content on the sintering and phase changes of Yb:YAG laser ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, 32 [11] 2012, 2949–2956.
- M. Serantoni, A. Piancastelli, A. L. Costa, L. Esposito, " Improvements in the production of Yb:YAG transparent ceramic materials: Spray drying optimization", *Optical Materials* 34 (2012) 995–1001

### Relevant Projects

- European project "LASERLAB-EUROPE" EC contract no. 284464, Joint Research Activity WP33 - "European Research Objectives on Lasers for Industry, Technology and Energy (EURO-LITE)"
- Italian Flag project RITMARE, La Ricerca Italiana per il Mare, funded by Ministry of Educ. Univ. and Res. (MIUR)
- European CRAFT Project NOVI GLAS "Innovative high power laser system based on polycrystalline nd:yag for marking, engraving, cutting and micro-drilling metal surfaces", Project n. COOP-CT-2004-5123182010-2011
- Bilateral Project with INSA CNRS Lyon in France, title : SCOC (Sintering and Characterization of Optical Ceramics)
- Project with Aquitania region "Production and characterization of transparent ceramics"

**Ceramici per l'edilizia e costruzioni:  
processo tecnologico e proprietà  
tecniche**

**Ceramic materials for building and  
construction: technological process and  
technical properties**

Responsabile scientifico: **Michele Dondi** [michele.dondi@istec.cnr.it](mailto:michele.dondi@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Guida Guarini, Mariarosa Raimondo, Chiara Zanelli

HIGH  
TECH

Negli ultimi anni, l'interesse sui ceramici per l'edilizia e da costruzione punta alla progettazione e sviluppo di componenti alleggeriti, di spessore ridotto e dalle caratteristiche estetiche desiderate.

*In the last years, the recent innovations on house building and construction ceramic materials are focused on the design and development of light components with reduced thickness and desired aesthetic features.*

ISTEC ha un'esperienza pluridecennale in attività di ricerca a sostegno dello sviluppo scientifico e tecnologico dell'industria ceramica per l'edilizia e la costruzione.

*ISTEC has many years of experience in research activities in scientific and technological development of the ceramic industry for building and construction. Offers innovative solutions regarding both materials (ceramic tiles, ceramic slabs, bricks, lightweight aggregate, refractories, sanitaryware, tableware, etc.) and technological processes.*

Propone soluzioni innovative relative sia ai materiali (piastrelle ceramiche, lastre ceramiche, laterizi, aggregati leggeri, refrattari, sanitari, stoviglie, ecc) che ai processi tecnologici.

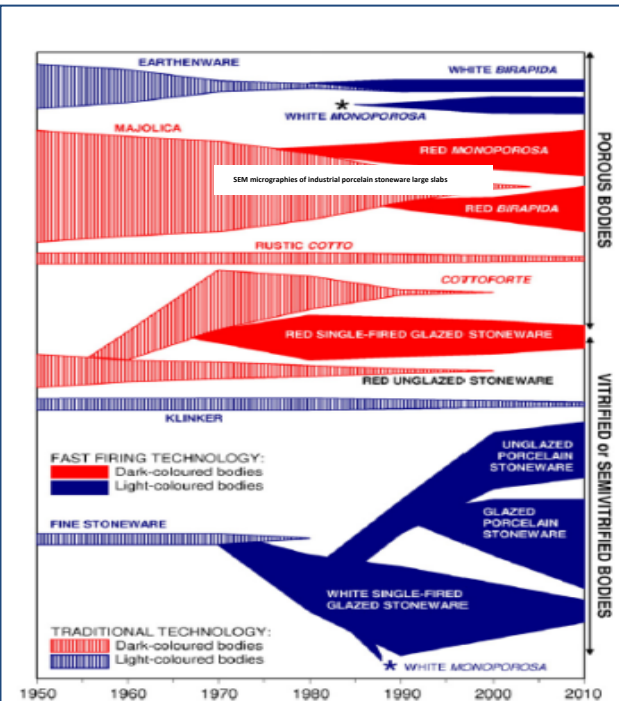
*ISTEC is dedicated to the study of the production process in order to evaluate the dependence of the main functional characteristics of the product on process parameters; relationships between characteristics of raw materials and properties of semifinished and finished products.*

ISTEC si dedica allo studio del processo produttivo al fine di definire l'influenza delle principali proprietà meccaniche, tribologiche e funzionali dei prodotti dai parametri di processo; relazione tra le caratteristiche delle materie prime ceramiche e le proprietà dei prodotti semilavorati e finiti.

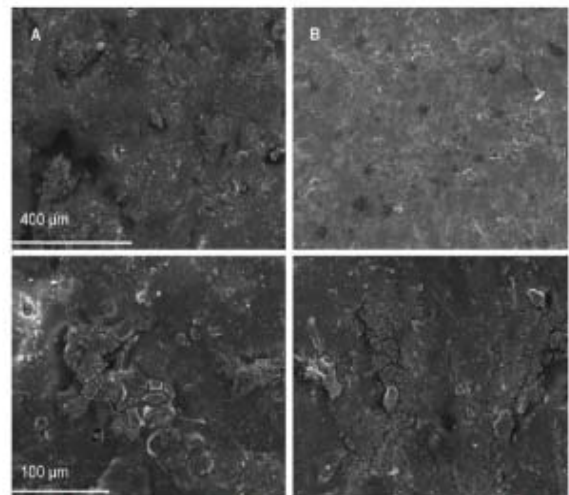
**Main Publications**

- Dondi M., Raimondo M., Zanelli C. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification *Applied Clay Science* 2014
- Raimondo M., Guarini G., Zanelli C., Marani F., Fossa, L., Dondi, M. Printing nano TiO<sub>2</sub> on large-sized building materials: Technologies, surface modifications and functional behaviour *Ceramics International* 38 (2012) 4685-4693
- Hajjaji W., Andrejkovičová S., Zanelli C., Alshaaer M., Dondi M., Labrincha J. A., Rocha F., Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud (2013) *Materials & Design* 52,2013, 648-654

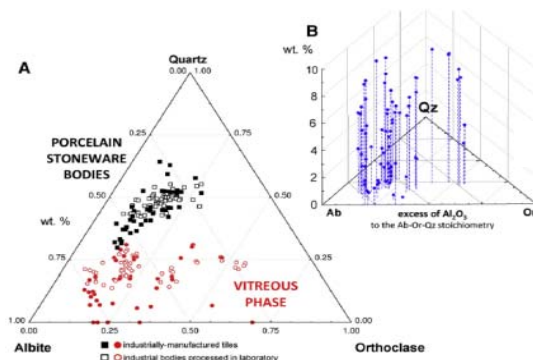
17



Evolution of typologies of ceramic tiles with technological innovation



SEM micrographs of industrial porcelain stoneware large slabs



Calculated composition of the vitreous phase in comparison with bulk composition of porcelain stoneware bodies in terms of quartz –albite-orthoclase components and excess of alumina with respect of the quartz feldspars stoichiometry

**Materie prime ceramiche e riciclo di scarti** *Ceramic raw materials and waste recycling*

Responsabile scientifico: Michele Dondi [michele.dondi@istec.cnr.it](mailto:michele.dondi@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Guia Guarini, Mariarosa Raimondo, Chiara Zanelli

HIGH TECH

I prodotti ceramici per l'edilizia e per gli usi domestici ed industriali sono ottenuti facendo largo impiego di materie prime naturali. Laterizi, piastrelle, sanitari, stoviglie, aggregati leggeri e refrattari silico-alluminosi sono tutti fabbricati utilizzando principalmente materiali argillosi, fondenti feldspatici e/o sabbie quarzose, a cui si aggiungono materie prime complementari (es. talco, carbonati, wollastonite, zircono, borati, minerali di litio).

Il comportamento durante il processo tecnologico e le proprietà tecniche dei prodotti ceramici spesso dipendono strettamente dalle caratteristiche delle materie prime (composizione chimica e mineralogica, granulometria e superficie specifica, plasticità e fusibilità, ecc.).

In questo ambito, ISTEC è impegnato non solo a ricercare, caratterizzare e sviluppare nuovi giacimenti e impieghi di materie prime per ceramica, ma anche modellizzare le loro proprietà e il loro comportamento tecnologico.

Particolare attenzione è dedicata, inoltre, al riciclo di scarti e sottoprodotti industriali nel ciclo di produzione dei prodotti ceramici per l'edilizia.. ISTEC ha un'esperienza pluridecennale che include: analisi di laboratorio, assistenza di prove industriali, consulenza per problematiche di prodotto e di processo, banca dati sull'utilizzo dei residui civili ed industriali in ceramica.

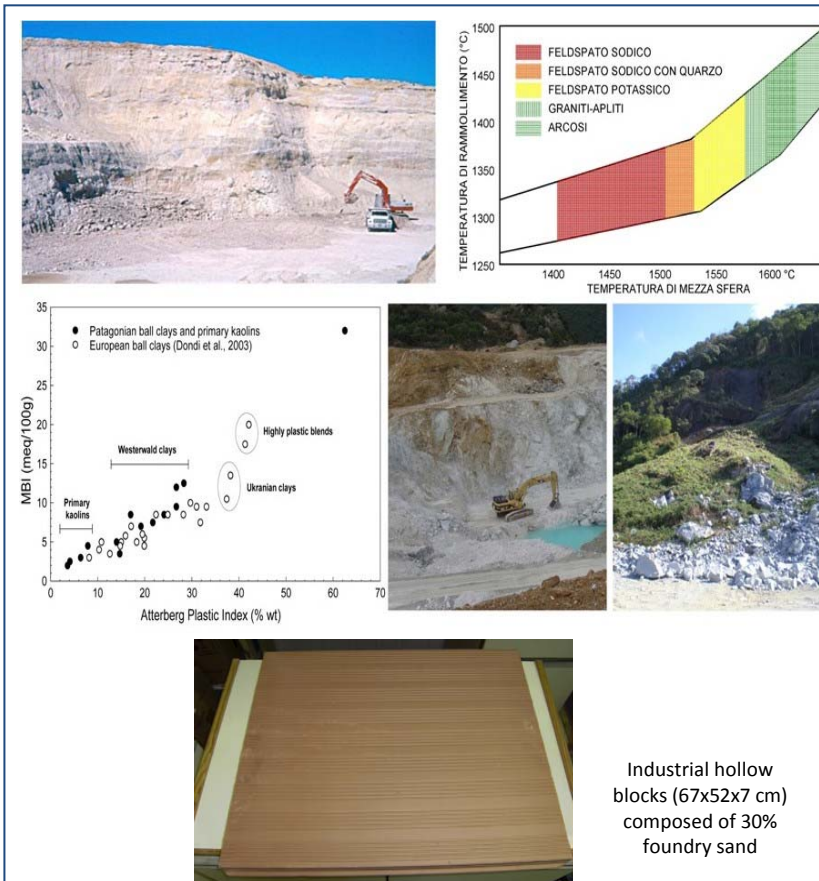
*Ceramic products for house-building, domestic and industrial uses are obtained making a wide use of natural raw materials. Bricks, tiles, sanitaryware, tableware, lightweight aggregates and silica-alumina refractories are all manufactured mainly utilizing clay materials, feldspathic fluxes and/or quartzuous sands; in addition, complementary raw materials are seldom used (e.g. talc, carbonates, wollastonite, zircon, borates, lithium minerals).*

*The behaviour and the technical properties of ceramic products during the technological process often strictly depend on the characteristics of raw materials (chemical and mineralogical composition, particle size distribution and specific surface area, plasticity and fusibility, etc.).*

*In this field, ISTEC is involved not only in prospecting, characterizing and developing new deposits and uses of raw materials for ceramics, but also in modelling their properties and technological behaviour.*

*Moreover, special attention is paid to the recycling of industrial waste and byproducts in the manufacturing cycle of the ceramic products for house-building. CISTEC has 30 years of experience that include: laboratory tests, assistance in the industrial trials, consultancy for product and processing problems, data-base on the use of civil and industrial residues in ceramics.*

18



Industrial hollow blocks (67x52x7 cm) composed of 30% foundry sand

**Main Publications**

- M. Dondi, M. Raimondo, C. Zanelli Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification Applied Clay Science <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013>
- W. Hajjaji, S. Andrejkovičová, C. Zanelli, M. Alshaaer, M. Dondi, Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud, Materials & Design 52, 2013, 648-654
- W. Hajjaji, G. Costa, C. Zanelli, M.J. Ribeiro, M.P. Seabra, M. Dondi, An overview of using solid wastes for pigment industry Journal of the European Ceramic Society 32 (4), 2012, 753-764
- E. Domínguez, M. Dondi, C. Iglesias Environmental suitability of ceramic raw materials: a geochemical approach to volatile emissions and leaching potentials Environmental Earth Sciences 65 (2), 2012, 517-523
- C. Zanelli, M. Raimondo, G. Guarini, M. Dondi, C. Iglesias, E. Domínguez, Improving technological performances of ball clays: a Case study from Patagonia (Argentina) Ceramic Forum International, 88, 2011.
- Alonso-Santurde R., Andrés A., Viguri J. R., Raimondo M., Guarini G., Zanelli C., Dondi M., Technological behaviour and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks, Journal of Environmental Management, 92 (2011) 994-1002.

## Geopolimeri per edilizia ed infrastrutture, trasporti, riciclo e biomateriali

## Geopolymers for building and infrastructures, transport, recycling and biomaterials

Responsabile scientifico: **Valentina Medri** [valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Elena Landi, Mauro Mazzocchi, Francesco Miccio, Elettra Papa, Annalisa Natali Murri, Angelo Vaccari

ISTEC collabora a livello nazionale ed internazionale per sviluppare questa tecnologia, affrontando lo studio di base della reattività delle materie prime, in particolare il metacaolino, e la funzionalizzazione di composizioni con fasi secondarie come fibre e particelle ceramiche. Scarti e sottoprodotti industriali di varia natura possono essere riciclati come materie prime o cariche inerti per questo tipo di applicazione.

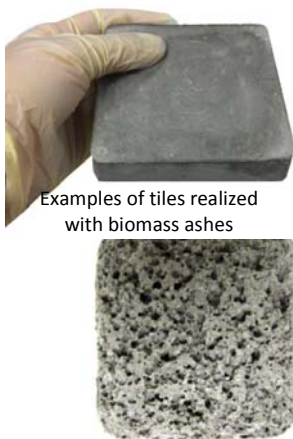
Inoltre ISTEC produce materiali a base geopolimerica per applicazioni strutturali e termo meccaniche quali: pannelli isolanti termici, acustici e taglia-fuoco; schiume a porosità funzionale per filtri, catalisi, biomateriali, ecc.

I geopolimeri hanno una grande tolleranza alle alte temperature poiché sono incombustibili, non sviluppano gas o fumi e non “esplodono” poiché contrariamente ai cementi idraulici non contengono acqua in struttura.

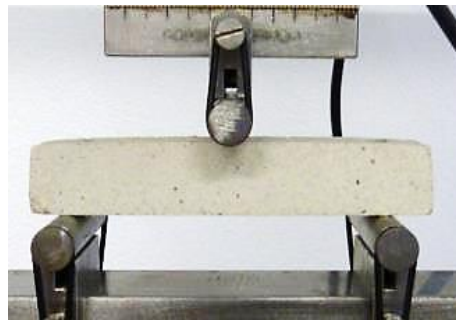
*ISTEC cooperates with Italian and international institutions to develop this technology, by studying raw materials reactivity, in particular metakaolin, and by functionalizing the compositions with secondary phases such as fibres and ceramic particles. Industrial wastes and by-products can be recycled as raw materials or inert fillers for this kind of application.*

*Moreover ISTEC produces geopolymer-based materials for structural and thermo-mechanical applications, such as: panels for thermal insulation, soundproofing and fire-proofing foams with a functional porosity for filters, catalysis, biomaterials, etc.*

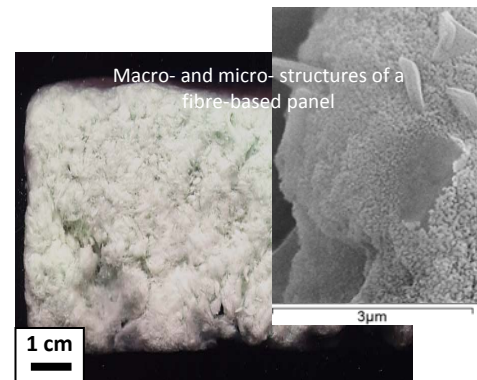
*Geopolymers have a high heat tolerance because they do not burn or ignite, they do not release gases or smokes and they do not “explode” because they do not incorporate water of hydration within the structure as hydraulic cements do.*



Examples of tiles realized with biomass ashes



Mechanical test on a composite panel



Macro- and micro- structures of a fibre-based panel

### Main Publications and Congress Contributions

- V. Medri, S. Martelli, E.Landi, L. Esposito, Alkali inorganic binders for the production of fibre based foams, *Ceram. Int.*, .2014.02.007
- E Papa, V Medri, E Landi, B Ballarin, F Miccio, Production and characterization of geopolymers based on mixed compositions of metakaolin and coal ashes, *Materials & Design* 56 (2014) 409-415
- V. Medri, E. Landi, Recycling of porcelain stoneware scraps in alkali bonded ceramic composites, *Ceram. Int* 40, 1 PART A(2014) 307-315
- V. Medri, E. Papa, E. Landi, Behaviour of alkali bonded silicon carbide foams in modified synthetic body fluid, *Materials Letters* 106 (2013) 377
- V. Medri, E. Landi, E. Papa, J. Dedecek, P. Klein, P. Benito, A. Vaccari, Effect of metallic Si addition on polymerization degree of in situ foamed alkali- aluminosilicates, *Ceram. Int.*, 39 (7) (2013) 7657-7668
- E. Landi, V. Medri, E. Papa, et al. , Alkali-bonded ceramics with hierarchical tailored porosity, *App Clay Sci*, 73 (2013) 56–64
- V. Medri, A. Ruffini, Alkali-bonded SiC based foams, *J Eur Ceram Soc* 32 (2012) 1907-1913
- V. Medri, A. Ruffini, The influence of process parameters on inorganic foaming of alkali-bonded SiC based foams, *Ceram Int* 38 (2012) 3351
- V. Medri, Capitolo 2: Materie Prime; V. Medri, Capitolo 6: Materiali compositi a base geopolimerica; E. Kamseu, E. Landi, Capitolo 10: Geopolimeri porosi, in: *Geopolimeri: polimeri inorganici chimicamente attivati*, 2° Edizione, di C. Leonelli e M. Romagnoli., 2014
- Geopolymers: a new and smart way for a sustainable development. Special Issue on Applied Clay Science. A. Vaccari, P. Benito, C. Leonelli and V. Medri (Eds.), 73 (2013), 1-110.
- E. Papa, A. Natali Murri, V. Medri, E. Landi, Design of wool-geopolymer pots, 38th ICACC, Daytona Beach, FL
- E. Papa, E. Landi, P. Benito, A. Vaccari, V. Medri, Tailoring of the porosity in geopolymers, 38th ICACC, Daytona Beach, FL
- A. Natali Murri, E. Papa, E. Landi, V. Medri, Chemical consolidation of vegetal and animal derived biomass ashes: a case study, *International Workshop on Alkali-activated Materials and Geopolymers: Innovative Solutions for Civil Engineering*, Bologna, 2013
- A Natali Murri, E Papa, V Medri, E Landi, F Miccio, Reactivity of ashes from different waste sources, *ECerS XIII, Limoges*, 2013
- V. Medri, Alkali bonded composites for thermal and acoustic insulation, *MAPEI Workshop “Geopolymer: present and future”*, Milano
- V. Medri, E. Landi, E. Papa, Alkali-bonded inorganic polymers: materials with various applications , 10th CMCEE, 2012, Dresden, Germany

### Relevant Projects

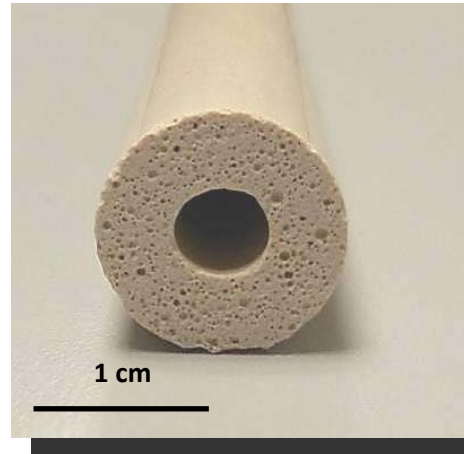
- Progetto Bandiera “RITMARE-Ricerca italiana per il mare” del CNR
- Progetto PON “PANDION-Studio di sottosistemi funzionali innovativi per impieghi spaziali”
- Progetto MISE “MATEC- Nuovi materiali e nuove tecnologie per un cogeneratore prototipo a combustione interna”
- Progetto nell’ambito della Rete Alta tecnologia -Tecnopolo MITAI “Materiali Innovativi e Tecnologie per Applicazioni Industriali”, Faenza

## Geopolymers and Chemically Bonded Ceramics

Geopolymers are inorganic polymers based on synthetic alkali-aluminosilicates or phosphates of metal oxides.

Geopolymers belong to the class of the chemically bonded ceramics: they are synthesised at  $T < 300^{\circ}\text{C}$  from a variety of raw materials including recycled resources and mineral wastes, reducing the energy demands and environmental impact during their production. Geopolymers enable product designers to envisage the use of ceramic type materials with the same facility as some plastics and organic.

ISTEC works on a wide range of versatile geopolymers based materials and composites finding applications in the automotive and aerospace industries, civil engineering, waste management, biomaterials, catalysis & filtration, energy etc.. Examples are fibre-based panels for thermal and acoustic insulation, heat exchangers, porous supports, refractory paints, pots, also from waste materials (fly ashes, biomass ashes, wool and fibre waste)



Porous heat exchanger device

### With regards to enterprises

ISTEC collaborates with several industrial partners, in particular SAB Aerospace Srl and CGS SpA, in the frame of PON Pandion. ISTEC designs the geopolymer micro- and macro-structure in term of chemistry, porosity, fillers.

ISTEC produces and characterizes lab scale prototypes.

### Contact

Valentina Medri  
[valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it)



Reactive Powder

+



Activating Solution

+



Functionalizing Filler



Sandwich panel for thermal insulation produced from ceramic wastes



Wool-geopolymer pot and its surface structure

## Strutture Ceramiche a Porosità Funzionale *Ceramic Structures with Functional Porosity*

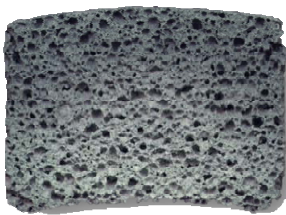
Responsabile scientifico: **Elena Landi** [elena.landi@istec.cnr.it](mailto:elena.landi@istec.cnr.it)

Collaboratori: Daniele dalle Fabbriche, Mauro Mazzocchi, Valentina Medri, Cesare Melandri, Francesco Miccio, Elettra Papa, Andreama Piancastelli

ISTEC realizza architetture ceramiche o ibride a porosità funzionale (multidimensionale dal nano- al milli-metrico, globulare o unidirezionale, isotropa – anisotropa, a gradiente, ecc.) sulla base dei requisiti imposti dagli specifici settori applicativi (assorbitori, filtri, sostituti ossei, dispensatori di agenti specifici, catalisi, alleggerimento strutturale, coibentazione, riciclo, ecc.). Si utilizzano tecnologie prevalentemente near net shape, generalmente basate sull'uso di sospensioni ceramiche o ibride e di agenti schiumogeni (foaming diretto) o/e di templanti sacrificali (replica di spugne polimeriche, freeze casting, granuli polimerici, polveri metalliche,..). L'uso di acqua come mezzo liquido e la possibilità di sfruttare alcune tecnologie per il riciclo-smaltimento di rifiuti risulta di interesse in un'ottica di salvaguardia dell'ambiente.

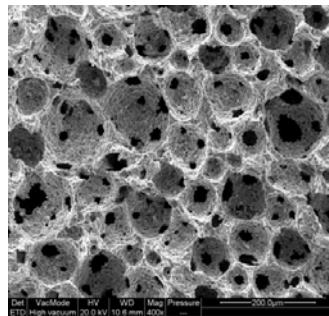
*ISTEC realizes ceramic or hybrid architectures with functional porosity (from the nano- to milli-metric size, globular or unidirectional, isotropic or anisotropic, graded, etc.) on the basis of the requirements imposed by the specific application areas (absorbers, filters, bone substitutes, dispensers of specific agents, catalysis, weight lightening, insulation, recycling, etc..).*

*Near net shape technologies are mainly chosen, generally based on the use of ceramic or hybrid suspensions and blowing agents (direct foaming) or / and sacrificial templates (replica of polymeric sponges, freeze casting, polymer granules, metal powders, ..). The use of water as the liquid medium and the possibility of exploiting some technologies for the recycling-disposal of waste is of interest in view of environmental protection.*



2 cm

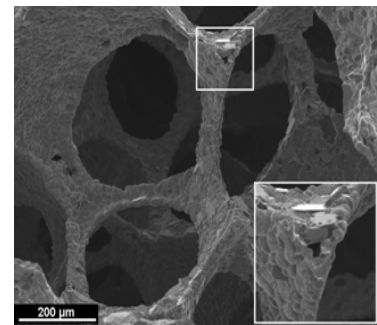
SiC foam produced exploiting *in situ* gas evolution



Ceramic foam produced exploiting a protein mediated process



ZrB<sub>2</sub> based foam produced by sponge replica coupled with slip casting



Ceramic foam produced by polyurethane sponge replica

21

### **Main Publications and Congress Contributions**

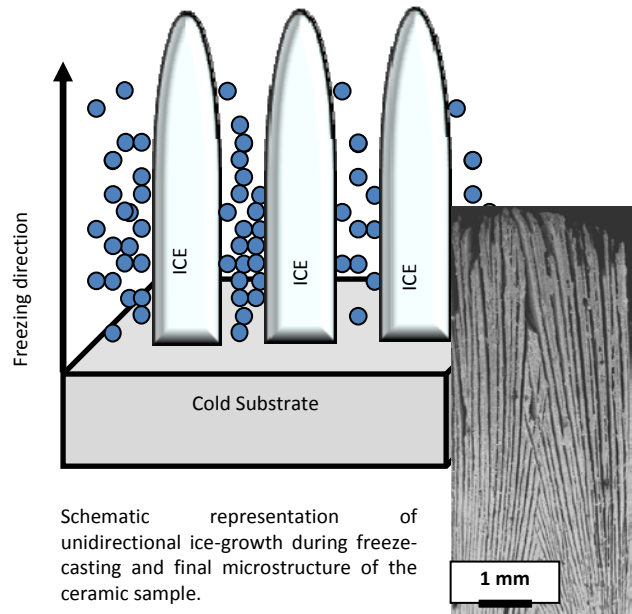
- V. Medri, S. Martelli, E.Landi, L. Esposito, Alkali inorganic binders for the production of fibre based foams, *Ceram. Int.*, 10.1016/j.ceramint.2014.02.007
- V. Medri, E. Landi, Recycling of porcelain stoneware scraps in alkali bonded ceramic composites, *Ceram. Int* 40, 1 PART A(2014) 307-315
- E. Landi, D. Sciti, C. Melandri, V. Medri, Ice templating of ZrB<sub>2</sub> porous architectures, *Journal of the European Ceramic Society* 33 (2013) 1599.
- E. Landi, J. Uggeri, V. Medri, S. Guizzardi, Sr, Mg cosubstituted HA porous macro-granules: Potentialities as resorbable bone filler with antiosteoporotic functions, *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* 101 A (9) (2013) 2481-2490
- E. Landi, V. Medri, E. Papa, J. Dedecek, P. Klein, P. Benito, A. Vaccari, Alkali-bonded ceramics with hierarchical tailored porosity, *App Clay Sci*, 73 (2013) 56–64
- V. Medri, E. Papa, E. Landi, Behaviour of alkali bonded silicon carbide foams in modified synthetic body fluid, *Materials Lett.* 106 (2013) 377
- V. Medri, E. Landi, E. Papa, J. Dedecek, P. Klein, P. Benito, A. Vaccari, Effect of metallic Si addition on polymerization degree of in situ foamed alkali- aluminosilicates, *Ceram. Int.*, 39 (7) (2013) 7657-7668
- L. Ciocca, D. Donati, S. Ragazzini, B. Dozza, F. Rossi, M. Fantini, A. Spadari, N. Romagnoli, E. Landi, A. Tampieri, A. Piattelli, G. Iezzi, R. Scotti. Mesenchymal Stem Cells and Platelet Gel Improve Bone Deposition within CAD-CAM Custom-Made Ceramic HA Scaffolds for Condyle Substitution. *BioMed Research International* (2013) ID549762
- L. Ciocca, D. Donati, M. Fantini, E. Landi, A. Piattelli, G. Iezzi, A. Tampieri, A. Spadari, N. Romagnoli, R. Scotti. CAD–CAM-generated hydroxyapatite scaffold to replace the mandibular condyle in sheep: Preliminary results. *Journal of biomaterials applications* 28 (2) (2013), 207-218
- L. Russo, S. Zanini, P. Giannoni, E. Landi, A. Villa, M. Sandri, C. Riccardi, R. Quarto, S. M. Doglia, F. Nicotra, L. Cipolla. The influence of plasma technology coupled to chemical grafting on the cell growth compliance of 3D hydroxyapatite. *J. of Mat. Sci.: Materials in Medicine* 23 (11) (2012), 2727
- V. Medri, D. Sciti, E. Landi, Chapter 8 Production of UHTC Complex Shapes and Architectures. In: *MAX Phases and Ultra-High Temperature Ceramics for Extreme Environments*; I. M. Low, Y. Sakka, C. F. Hu (Eds.), IGI Global (2013), pp.246-272. ISBN 978-1-4666-4068-9
- V. Medri, D. Sciti, E. Sani, E. Landi, Ice templating of ZrB<sub>2</sub>-based ceramics, 38th International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites, 2014, Daytona Beach, FL

### **Relevant Projects**

- Progetto Bandiera "RITMARE-Ricerca italiana per il mare" del CNR
- Progetto PON "PANDION-Studio di sottosistemi funzionali innovativi per impieghi spaziali"

## Advanced Technologies for porous ceramics: Freeze casting – ice templating

The potential field of application of porous ceramics is increasing; the porosity is a functional property, so that 3D porous ceramics with interconnected and distributed open pores are designed for the specific application. Water-based freeze casting, “ice-templating”, is a novel technique to fabricate porous ceramic 3D structures with main unidirectional oriented pores, a high open porosity and the final components resulting in a lamellar or laminate-like structure. In details, the final porosity network resembles the ice crystals grown during freezing and eliminated by sublimation, thus it can be tuned acting on several parameters, in particular the water content of the slurry and the freezing direction and kinetics. The process is environmentally friendly (compared to other templating methods that use non aqueous medium or polymeric templates, which need to be burned out) and highly versatile.

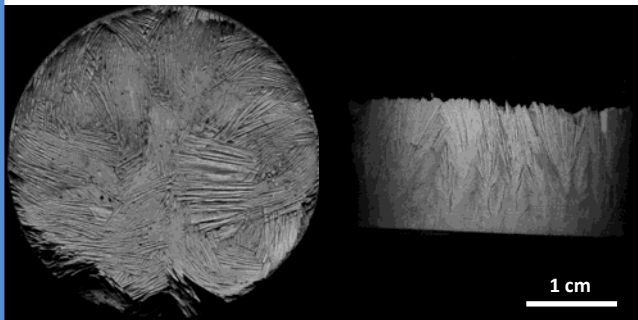


This technique has seen great interest, in particular for the unique structures and properties showed by porous freeze-cast ceramics, which open new opportunities in the field of cellular ceramics.

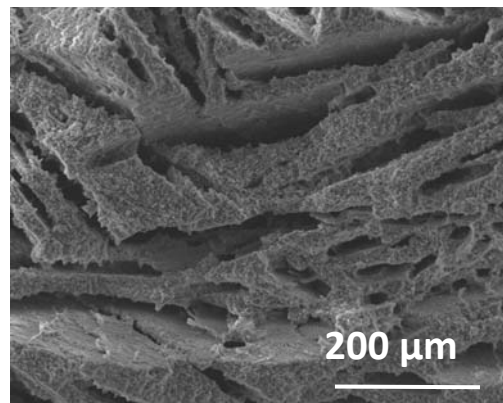
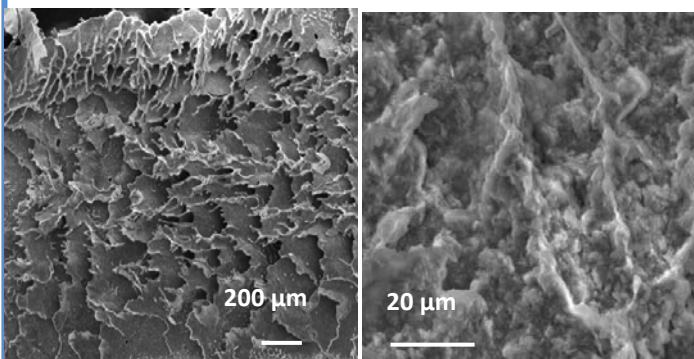
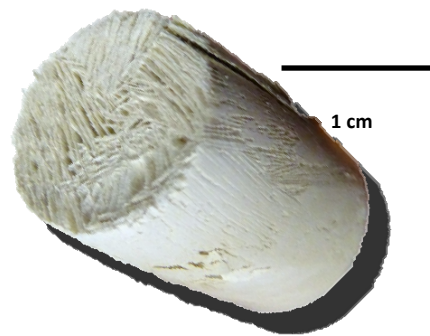
**With regards to enterprises.** ISTEC designs, produces and characterizes lab scale prototypes. ISTEC has developed freeze-cast ceramics as bioceramics, UHTC based solar sorbents (CNR Patent MI2012A000583) and ceramics for catalysis and filtration.

**Contact:**  
Elena Landi [elena.landi@istec.cnr.it](mailto:elena.landi@istec.cnr.it)

### Examples of porous prototypes produced at ISTEC



UHTC based solar sorbents (up);chemically bonded filters (right).





## Giunzioni di materiali ceramici

## Joining of ceramic materials

Responsabile scientifico: **Laura Esposito** [laura.esposito@istec.cnr.it](mailto:laura.esposito@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Laura Silvestroni, Diletta Sciti, Cesare Melandri, Daniele Dalle Fabbriche

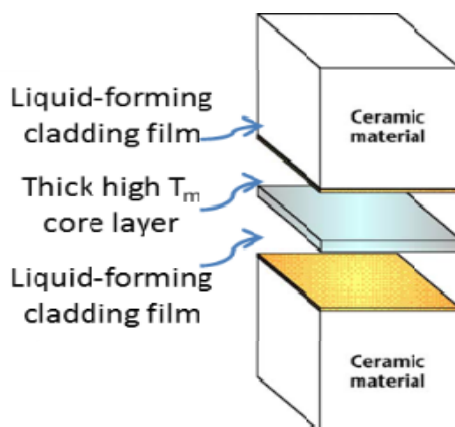
Le tecniche di giunzione permettono di produrre strutture complesse e formate da diversi materiali che non possono essere ottenute direttamente da processi di densificazione. La realizzazione di giunzioni è particolarmente importante per sfruttare appieno le potenzialità di molti materiali ceramici avanzati.

*Joining techniques permit to build complex and potentially multimaterial structures that cannot be obtained directly with the densification process.*

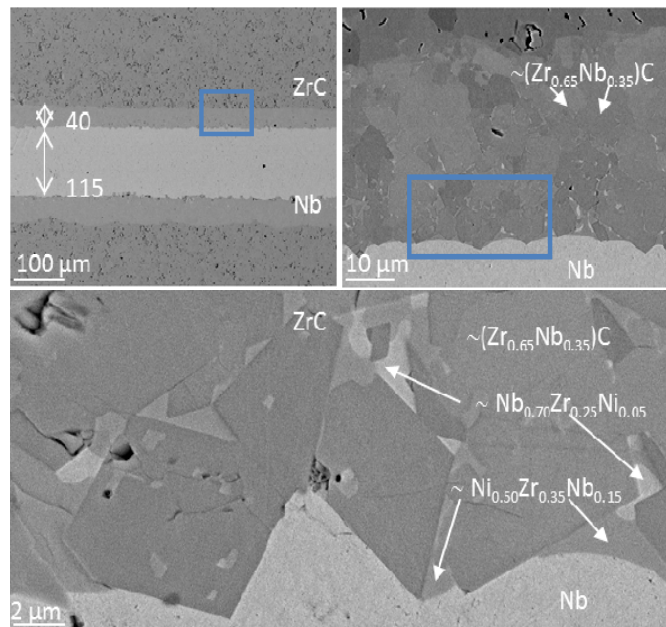
*Bonding is necessary to fully exploit the potential of several hi-tech ceramics.*

**Nell'esempio si schematizza il processo di giunzione tramite TLP (Transient-Liquid-Phase, fase liquida transiente) di materiali ultrarefrattari UHTC**

*The example shows the scheme of the Transient-Liquid-Phase Bonding of UHTCs*



Assembly with a multilayer interlayer



An example: Bonded Zirconium Carbide (ZrC) with a Ni-Nb-Ni interlayer

### Main Publications and Congress Communications

- D. Sciti, L. Silvestroni, L. Esposito, K. Nakashima, N. Saito, Y. Yamaoka, A. M. Glaeser, "Advances in Transient-Liquid-Phase Bonding of Ultra-high Temperature ZrC Ceramics", A special issue in memory of Professor Dr. Masanori Iwase on " Thermodynamics and Kinetics of Materials Processing", in press in *International Journal of High Temperature Materials and Processes*, Vol.31 (2012) No. 3 or No.4
- L. Silvestroni, D. Sciti, L. Esposito and A. M. Glaeser, "Joining of Ultra-Refractory Carbides", *Journal of the European Ceramic Society, J. Eur. Ceram. Soc.*, 32 (2012) 4469-4479
- L. Esposito, D. Sciti, L. Silvestroni, S. Guicciardi, N. Saito, K. Nakashima, A. M. Glaeser, Transient-liquid-phase bonding of HfC-based ceramics, submitted.
- L. Esposito, D. Sciti, L. Silvestroni, A. M. Glaeser, Transient-Liquid-Phase Bonding of UHTCs Using Refractory-Metal-Based Interlayers, 10<sup>th</sup> CMCEE, Dresden, Germany, 2012
- L. Silvestroni, D. Sciti, L. Esposito, A. M. Glaeser Joining of ultra-high temperature carbides, UHTCs: Materials for extreme environment applications II, Hernstein, Austria, 2012
- L. Esposito, D. Sciti, L. Silvestroni, S. Guicciardi, N. Saito, K. Nakashima, A. M. Glaeser, Transient-liquid-phase bonding of HfC-based ceramics, XIII ECerS, 2013

### Relevant Projects

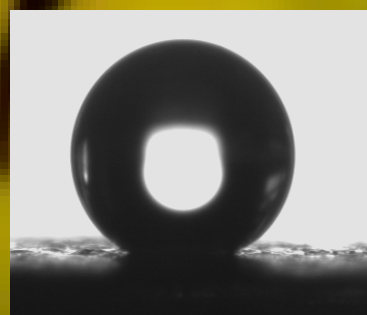
Progetto bilaterale CNR ISTEC Italy- Kyushu University Japan, Titolo: Transient-Liquid-Phase Bonding of UHTCs Using Refractory-Metal-Based Interlayers for High-Efficiency Energy-Generation Applications



**NANOTECNOLOGIE  
FUNZIONALIZZAZIONI DI SUPERFICI**

**24**

**NANOTECHNOLOGIES  
SURFACE  
FUNCTIONALIZATION**



## Sintesi e design di nanomateriali

## Synthesis and design of nanomaterials

Responsabile scientifico: **Anna Costa** [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Magda Blosi, Simona Ortelli, Davide Gardini

L'attività è indirizzata alla sintesi, caratterizzazione e applicazione di sistemi colloidali nanodispersi. La ricerca è articolata su tre argomenti fondamentali: i) sintesi e funzionalizzazione di nanosols e/o nanopolveri; ii) formulazione di nanosols (pH, contenuto di polveri e additivi); iii) processi di funzionalizzazione di superfici tramite la deposizione di nanosols.

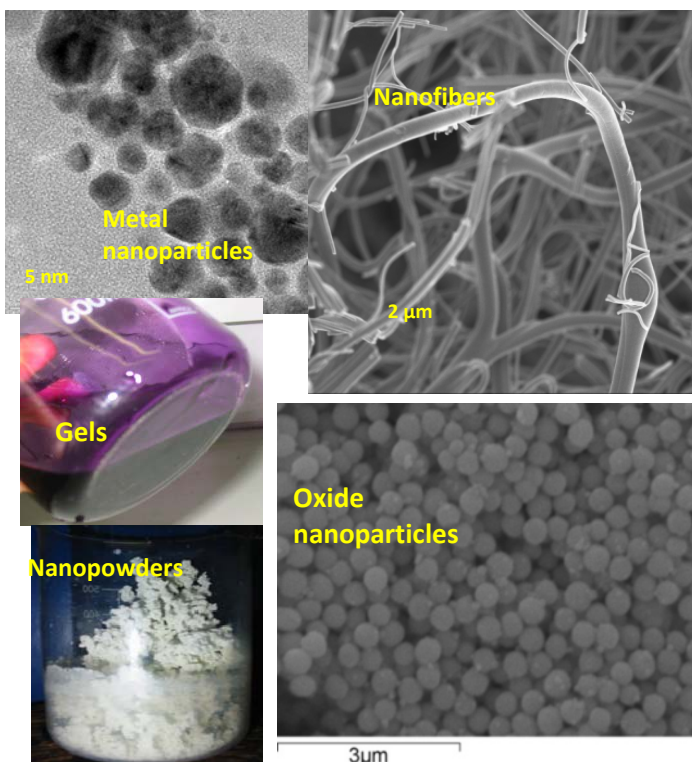
Si sono messe a punto sintesi di ossidi di metalli e/o metalli tramite processi sol-gel di tipo diverso, con riscaldamento convenzionale che via microonde. È stato possibile realizzare nanostrutture complesse di tipo core-shell, ossido-metallo, ma anche ossido-ossido o metallo-metallo, ottenendo proprietà sinergiche e mirate tra i materiali.

Nell'ambito dell'ingegnerizzazione di superfici è stata trasferita la decennale esperienza che l'ISTEC vanta nella scienza dei colloidali per controllare le proprietà di superficie dei nanomateriali e i processi di confinamento degli stessi (potenziale Z, diametro medio dei sistemi dispersi, stabilità colloidale, tensione superficiale). Recentemente la ricerca si è focalizzata sulla funzionalizzazione di superfici solide (tessili, ceramici, polimeri, polveri) mediante deposizione di film nanostrutturati trasparenti. L'ampia versatilità dei nanomateriali sintetizzati (ossidi, metalli) ha permesso di studiare la loro applicabilità nei settori più disparati: processi catalitici, nanofluidi per scambio termico, superfici antibatteriche/autopulenti.

L'attività vede collaborazioni con aziende Italiane di diversi settori (tessile, ceramico) interessate ad applicare i nanomateriali ai loro prodotti al fine di conferire determinate proprietà superficiali (antibattericità, autopulenza, antifiama).

*The present activity is addressed to the synthesis, characterization and application of nanodispersed colloidal systems. Three main topics are addressed: i) synthesis and functionalization of nanosols and/or nanopowders; ii) nanosols formulation (pH, amount of inorganic phase and additives); iii) processes of solid surfaces functionalization through the deposition of ceramic nanosols.*

*The following processes have been developed: synthesis of metals and/or metal oxides by sol-gel with traditional or microwave heating. Thanks to the design/optimization of the synthesis procedures, complex nanostructures, core-shell type can be realized. Core-shell structures provide synergic properties between the used materials: metal-oxide, oxide-oxide and metal-metal. For what regards the control and design of solid surface interphase systems, the experience gained in the field of colloidal science (assessment of properties such as zeta potential, dynamic diameter of nanosols, colloidal stability, surface tension) has been fruitfully transferred to the control of nanoparticles confinement and surface chemistry. Recently the research has been focused on the functionalization of solid surfaces (fabrics, ceramics, polymers, powders) through the deposition of transparent nanostructured coatings. The large versatility of synthesized nanomaterials (oxides and metals) allowed to study their application in different fields: catalytic processes, nanofluids for heat exchange, antibacterial/self-cleaning surfaces. Furthermore, the activity foresees also collaborations with Italian companies (textile, ceramic) interested in the application of nanomaterials to their products in order to give special surface properties (antimicrobial, self-cleaning, flame-resistant).*



### Main Publications

- M. Blosi, S. Albonetti, S. Ortelli, A.L. Costa, L. Ortolani, M. Dondi, Green and easily scalable microwave synthesis of noble metal nanosols (Au, Ag, Cu, Pd) usable as catalysts, *New Journal of Chemistry*, 38 (2014) 1401 - Selected as front cover
- M. Serantoni, A. L. Costa, C. Zanelli, "Crystallization behavior of Yb-doped and undoped YAG nanoceramics synthesized by microwave assisted urea precipitation", in press *Ceramics International*, 2014 org/ 10.1016/j.ceramint.2014.04.018
- S. Ortelli, M. Blosi, S. Albonetti, A. Vaccari, M. Dondi, A.L. Costa, TiO<sub>2</sub> based nano-photocatalysis immobilized on cellulose substrates, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 276 (2013) 58-64
- M. Blosi, S. Albonetti, A.L. Costa, N. Sangiorgi, A. Sanson, Easily scalable synthesis of Ni nanosols suitable for the hydrogenation of 4-nitrophenol to p-aminophenol under mild condition" *Chemical Engineering J.* 215-216 (2013) 616-625
- M. Blosi, S. Albonetti, F. Gatti, G. Baldi, M. Dondi, Au-Ag nanoparticles as red pigment in ceramic inks for digital decoration (2012) *Dyes and Pigments* 94 (2012) 355 - 362
- L. Caruana, A.L. Costa, M.C. Cassani, E. Rampazzo, L. Prodi, N. Zaccheroni, Tailored SiO<sub>2</sub>-based coatings for dye doped superparamagnetic nanocomposites, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 410 (2012) 111- 118
- A.L. Costa, B. Ballarin, A. Spegni, F. Casoli, D. Gardini, Synthesis of nanostructured magnetic photocatalyst by colloidal approach and spray-drying technique", *Journal of Colloid and Interface Science* 388 (2012) 31-39

## Sistemi ceramici con superfici funzionalizzate

## Ceramic systems with functional surfaces

Responsabile scientifico: **Mariarosa Raimondo** [mariarosa.raimondo@istec.cnr.it](mailto:mariarosa.raimondo@istec.cnr.it)

Collaboratori: Michele Dondi, Magda Blosi, Guia Guarini

La realizzazione di materiali industriali per l'edilizia (sistemi costituiti da piastrelle da rivestimento, elementi di facciate ventilate, etc) con caratteristiche superficiali innovative - quali autopulenza, superidrofobicità o capacità di ridurre la concentrazione di inquinanti ambientali - è un fattore di innovazione strategico ai fini dell'aumento della competitività. I materiali per l'edilizia, infatti, sono prodotti le cui prestazioni tecniche di bulk si sono ormai assestate su livelli di eccellenza pertanto le tendenze sono focalizzate sull'implementazione dell'estetica e sulle funzionalità di superficie. Negli ultimi anni, la messa a punto di impasti e, soprattutto, di processi per la realizzazione di lastre ceramiche di grandi dimensioni (fino a 4.6 x 1.2 m<sup>2</sup>) ha alimentato la tendenza a fare delle superfici un'interfaccia "attiva" che interagisce dinamicamente con l'ambiente circostante. Sono già note produzioni industriali di materiali con superfici autopulenti, che contribuiscono alla sostenibilità ambientale, limitando l'utilizzo di detergenti chimici, oppure catalizzando reazioni di degradazione di macchie, inquinanti volatili (VOC) e ossidi di azoto (NOx).

L'attenzione nei confronti di queste tematiche è forte all'interno dell'ISTEC CNR, che ha posto la funzionalizzazione di superfici ceramiche al centro di linee di ricerca focalizzate alla realizzazione di:

- Superfici self cleaning, superidrofiliche (angolo di contatto con acqua <5°) o superidrofobiche (angolo di contatto > 150°)
- Superfici oleofobiche, in grado di repellere fluidi a bassa tensione superficiale (fino ad un limite di 25 mN/m); Superfici fotocatalitiche, attive nella decomposizione di macchie organiche, VOC e NOx
- Superfici con proprietà estetiche implementate (via deposizione di inchiostri nanometrici, sospensioni di ossidi metallici e leghe con struttura core shell, etc).

Le funzionalità di superficie vengono conferite grazie allo studio di materiali e processi, valutando e ottimizzando tutti i parametri coinvolti. L'ISTEC è in grado di simulare tali processi con verifica delle prestazioni, grazie al potenziamento di tecnologie (dipping, spruzzatura automatizzata, ink jet printing) per rivestimenti con struttura e chimica controllata.

*The realization of industrial materials for the building industry (systems consisting of wall tiles, elements of ventilated façades) with innovative surface characteristics - such as self-cleaning, superhydrophobicity or the ability to reduce the concentration of environmental pollutants - is a key factor to improve the competitiveness on domestic and international markets. Building ceramic materials, in fact, are products whose bulk technical characteristics are already well-established at excellent levels. The trend in recent years to the creation of suitable ceramic mixtures and slabs, with dimensions increasing up to 4.5 x 1.2 square meters, has involved the need to provide materials of new functionalities so that the surface itself becomes the "active" interface of the system with the surrounding environment. Industrial production of innovative materials are well known, having, for example, the self cleaning ability, contributing to environmental sustainability through the reduction of volatile organic pollutants (VOC) and degradation of nitrogen oxides.*

*The focus on the surfaces' performances within ISTEC CNR is a hot topic so that different research lines are active on:*

- Self-cleaning surfaces, superhydrophilic (contact angle with water <5°) and superhydrophobic (water contact angle > 150°)
- Oleophobic surfaces that can repel liquids with low surface tension (limit value of  $\gamma = 25 \text{ mN/m}$ );
- Photocatalytic surfaces, active in the decomposition of organic dyes, VOCs and NOx.
- Surfaces with implemented aesthetic features (obtained by deposition of nanometric inks, nanosuspensions of oxide metals and core-shell structured alloys).

*The surface features are conferred through the study of materials and processes, evaluating and optimizing all the involved parameters. ISTEC CNR is able to simulate the processes of surface functionalization, followed by the final assessment of the performance achieved, thanks to the strengthening of some deposition lines (dipping, spraying automated, ink jet printing) of coatings with controlled structure and chemistry*

### Main Publications and Congress Contributions

- M. Raimondo, G. Guarini, C. Zanelli, F. Marani, L. Fossa, M. Dondi "Printing nano TiO<sub>2</sub> on large-sized buildings materials: technologies, surface modifications and functional behaviour". *Ceramics International*, 38, 4685-4693, 2012
- M. Raimondo, M. Blosi, F. Bezzi, C. Mingazzini "Metodo per il trattamento di superfici metalliche per conferire alle stesse elevata idrofobicità e oleofobicità" Domanda di brevetto 21/06/2012
- M. Raimondo (Invited lecture) "Making superhydrophobic building materials: static and dynamic behaviour of nanostructured surfaces". 4th International Conference on Ceramics, ICC4, Chicago (USA), 2012
- M. Raimondo (Key note lecture) "Biomimetic, nanostructured coatings: superhydrophobic performances and applications" 13th European Ceramic Conference, ECerS, Limoges (France), 2013
- M. Raimondo (Invited talk) "Wetting processes of nanostructured surfaces: design of superhydrophobic and superhydrophilic industrial materials". 3M Technical Forum, Minneapolis (USA) 2012
- D. Gardini, M. Blosi, C. Zanelli, M. Dondi, "Ceramic Ink-Jet Printing for Digital Decoration: Physical constraints for Ink Design", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (2014) in press
- M. Blosi, S. Albonetti, F. Gatti, G. Baldi, M. Dondi "Au-Ag nanoparticles as red pigment in ceramic inks for digital decoration" *Dyes and Pigments* 94 (2012) 355-362
- Dondi M., Blosi M., Gardini D., Zanelli C. "Ceramic pigments for digital decoration inks: An overview" (2012) CFI Ceramic Forum International 89 (8-9)
- M. Dondi, M Blosi, D. Gardini, C. Zanelli, P. Zannini, Ink technology for digital decoration of ceramic tiles: an overview. *Proceedings of the 13th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2014, Castellón (Spain), 2014, 14*

## Materiali con superfici funzionalizzate. Proprietà di superidrofobicità, anti-ghiaccio, antifouling e riduzione attriti

Responsabile scientifico: **Mariarosa Raimondo** [mariarosa.raimondo@istec.cnr.it](mailto:mariarosa.raimondo@istec.cnr.it)  
Collaboratori: Magda Blosi, Guia Guarini

La funzionalizzazione delle superfici suscita un notevole interesse in diversi ambiti industriali da quello ceramico, a quello dei metalli e materiali compositi per applicazioni navali e aeree, alle fibre tessili, etc. Negli ultimi anni, uno degli obiettivi dell'ISTEC CNR è stato quello di modificare la reattività superficiale dei materiali attraverso progettazione e deposizione di rivestimenti destinati a modularne la bagnabilità, e ad incrementare in maniera significativa la loro repellenza nei confronti dell'acqua. La realizzazione di materiali superidrofobici, che presentano angoli di contatto con l'acqua  $>150^\circ\text{C}$  grazie ad un rigoroso controllo della loro nanostruttura e della chimica superficiale, consente in molti casi di aggiungere nuove funzionalità (anti-ghiaccio, antifouling o contribuire alla riduzione degli attriti) che amplificano notevolmente il potenziale applicativo di materiali quali metalli, leghe, acciai, etc.

Nel dettaglio, la superidrofobicità accoppiata alla capacità di eliminare o ridurre la formazione di ghiaccio (anti-icing) ha ricadute nella manutenzione degli aerei e nel favorire la sicurezza del volo. Su queste superfici le gocce d'acqua scivolano in maniera naturale, abbandonando le stesse in un tempo breve, tale da evitare il fenomeno del freezing. Il controllo della chimica superficiale è un altro parametro che la deposizione di rivestimenti superidrofobici consente di ottimizzare. Metalli o leghe a bassissima energia superficiale sono i candidati ideali per la realizzazione di scafi o sistemi di propulsione navale con capacità di ridurre fortemente il fenomeno del fouling marino, che tanto incide sulla velocità dei mezzi e sull'efficacia delle operazioni di pulizia e rimozione degli inquinanti marini.

Un ulteriore vantaggio di non poco conto è rappresentato dalla capacità delle superfici superidrofobiche a contatto con fluidi diversi di ridurre l'attrito. Questo ha portato l'ISTEC CNR a progettare componenti per pompe assiali con elevata affinità nei confronti dei lubrificanti, raggiungendo significative riduzioni dei coefficienti di attrito.

Per tutti i settori dei quali ci stiamo occupando, la durabilità degli effetti descritti e la meccanica dei rivestimenti costituiscono punti chiave, su cui l'ISTEC CNR, grazie ad un'estesa rete di collaborazioni nazionali ed internazionali, sta focalizzando la sua attenzione. Ad oggi presso la nostra struttura è possibile realizzare materiali performanti per impieghi industriali ad elevatissimo grado di innovazione.

## Industrial materials with functional surfaces. Superhydrophobic, de-icing, anti- fouling properties and friction reduction.

*The functionalization of surfaces generates considerable interest in various industrial fields from the ceramic one to that of metal and composite materials for aerospace and marine applications, to textile fibers, etc. In the recent years, the objective of ISTEC CNR activities has been to modify the surface reactivity of materials through the design and deposition of coatings - in the form of thin films - with the aim of modulating their wettability, and, in particular, increasing significantly their repellency against water. The realization of superhydrophobic materials, which exhibit contact angles with water  $> 150^\circ\text{C}$  thanks to a strict control of their nanostructure and surface chemistry, allows in many cases to add new functionalities (i.e. anti-icing, anti-fouling or to contribute to the friction reduction) that greatly enhance the potential application of materials such as metals, alloys, steels, etc. In detail, the superhydrophobicity coupled with the ability to eliminate or, at least, reduce the formation of ice (anti-icing attitude) has evident impact in the maintenance of aircraft and in promoting the safety of the flight, especially during the takeoff. On these surfaces, when properly treated, water droplets slide in a natural way, leaving the same in a time short enough to avoid undesirable freezing phenomena. The control of the surface chemistry, especially in terms of surface energy lowering, is another parameter that can be optimized by deposition of superhydrophobic coatings. Metals or alloys with a very low surface energy are the best candidates to the construction of hulls or marine propulsion systems with the ability to greatly reduce the marine fouling, which greatly affects the speed of vehicles and the effectiveness of cleaning and removal of marine pollutants operations. A further advantage is represented by the ability of superhydrophobic surfaces in contact with different fluids to reduce friction in correspondence of the boundary layer. This has recently led ISTEC CNR to design components for axial pumps with high affinity towards lubricants molecules, achieving a significant reductions of friction coefficients.*

*As far as all the scientific areas we are dealing with, the durability of the effects and the mechanics of coatings are the key points on which ISTEC CNR, thanks to an extensive network of national and international collaborations, is focusing the attention. Due to the specific skills and availability of suitable processes at our disposal, we can build and characterize highly innovative materials for different industrial applications.*

### Main Publications and Congress contributions

- M. Raimondo, M. Blosi, F. Bezi, C. Mingazzini "Metodo per il trattamento di superfici metalliche per conferire alle stesse elevata idrofobicità e oleofobicità" Domanda di brevetto 21/06/2012.
- M. Raimondo "Making superhydrophobic building materials: static and dynamic behaviour of nanostruct surfaces". ICCA, Chicago (USA), 2012.
- M. Raimondo "Biomimetic, nanostructured coatings: superhydrophobic performances and applications" 13th, ECeS, Limoges (France), 2013.
- M. Raimondo "Wetting processes of nanostructured surfaces: design of superhydrophobic and superhydrophilic industrial materials". 3M Technical Forum, Minneapolis (USA) 2012.
- M. Raimondo, M. Blosi, G. Guarini, A. Caldarelli "Amphiphobic Thin Films by Sol-Gel Route: Wetting Performances, Functional Behavior and Stability" MRS Fall meeting and Exposition, Boston (USA), 2013.

### Relevant Projects

- Progetto Bandiera: Fabbrica del Futuro. CHINA project: "Customized Heat Exchanger with Nanocoated Surfaces for Earth Moving Machines".
- Progetto Bandiera: Fabbrica del Futuro. SNAPP project: "Surface nanostructured Coatings for Improved Performances of Axial Piston Pumps".
- Progetto Bandiera: Ritmare. "Technical solutions for the reduction of air-bubble, air-layer, air-cavity friction. Development of superhydrophobic, nanostructured coatings."
- Progetto Bandiera: Ritmare. "Study and development of innovative paintings with anti-fouling" properties. Bando CLUSTER. Project: "Technologies and solutions for the reduction of friction resistance of marine hulls"

## Materials with de-icing properties

The control of surface wettability is generating considerable interest in different industrial sectors from the ceramic one to that of metals and composites for aerospace and naval applications. The design of materials with improved repellence against water (mimicking the natural **superhydrophobicity** of *Lotus leaves*) can provide their surface of relevant de-icing properties, extremely important in adverse environmental conditions during, for example, the takeoff and landing of aircrafts. The development of these materials requires the strict control of their topography and surface chemistry as the main critical parameters. Static (contact angle CA with water  $>150^\circ$ ) and dynamic (hysteresis contact angle  $<5^\circ$ ) superhydrophobicity can be achieved by deposition of nanostructured, hybrid, organic-inorganic thin films by a consolidate technology developed at ISTEC. The overall process can be integrated in the production process of many different materials, with different structure, composition and end uses.

### As regards enterprises...

On this topic, we collaborate with several industries involved in joint research programs or under research contracts.

We own two patents on the methodology for the production of superhydrophobic ceramics (M. Raimondo et al., **RM2011A000104**) and superhydrophobic metals (M. Raimondo et al., **RM2012A000291**)

We can offer: competences on processing of nanostructured materials, synthesis of nanometals, core-shell structures and precursor of thin film coatings, scale-up processing of research results, technological transfer to enterprises.

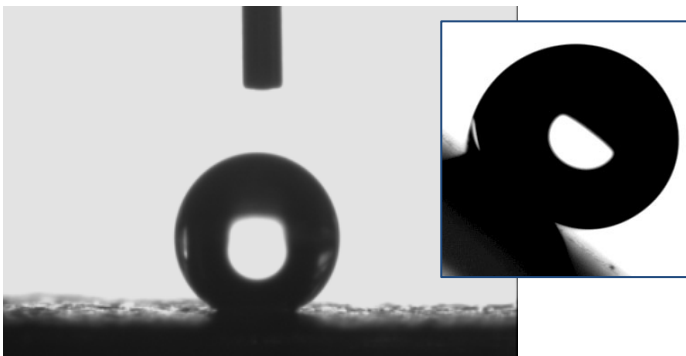


**Contact:**

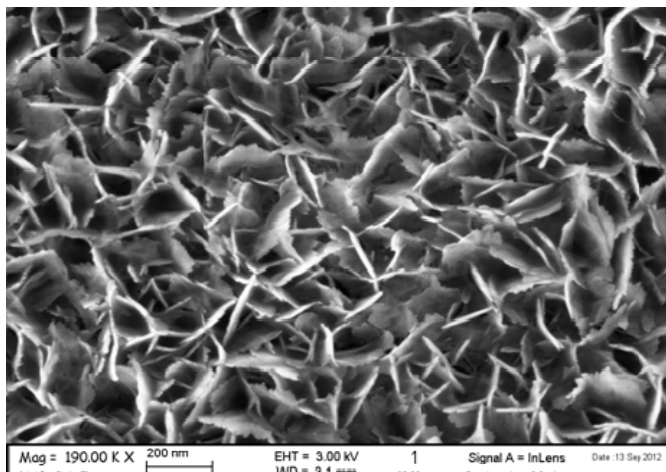
Mariarosa Raimondo

[mariarosa.raimondo@istec.cnr.it](mailto:mariarosa.raimondo@istec.cnr.it)

Nanostructure of surfaces developed at ISTEC with high repellence to water



Dip coater



## Tessili ceramizzati: settori tradizionali per nuove tecnologie

## Ceramic textile: old sectors for new challenges

Responsabile scientifico: **Anna Luisa Costa** [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Simona Orтели, Magda Blosi

### TESSILI CERAMIZZATI

L'immobilizzazione di nanoparticelle inorganiche (NPs) in supporti tessili consente di ottenere nuovi materiali compositi organici-inorganici che uniscono le proprietà dei tradizionali materiali ceramici e tessili.

### TESSILI ALTAMENTE PERFORMANTI

L'elevata affinità della nanostruttura metallo-ossido verso i gruppi polari sulla superficie del tessuto, garantisce una buona aderenza della fase ceramica, la cui nanostruttura non altera la natura del substrato tessile (colore, mano, traspirabilità, proprietà meccaniche). Rivestimenti protettivi con azione ritardante di fiamma, anti-usura, proprietà idrofile/idrofobiche possono essere sfruttati per la produzione di **Tessuto Tecnico** altamente resistente.

### MEZZI MULTIFUNZIONALI ALTAMENTE VERSATILI

La distribuzione gerarchica della porosità del materiale tessile accoppiata con la nanostruttura e la funzione intrinseca della fase ceramica, consente di progettare nuovi dispositivi catalitici, facilmente separabili, recuperabili, durevoli, nell'ambito della «clean technology» (trattamenti ambientali, filtrazione, biotecnologia, sensori).

**Le Attività di Trasferimento Tecnologico** sono documentate da progetti di ricerca industriali e dal primo premio della start-cup "CNR-II sole 24 Ore 2010" per il Nord Italia con il progetto "Tessuti Ceramizzati"

### CERAMIC TEXTILE

*The immobilization of Inorganic Nanoparticles (NPs) into textile fibers, let to obtain new organic-inorganic nano structured composites, joining both properties of traditional ceramic and textile materials.*

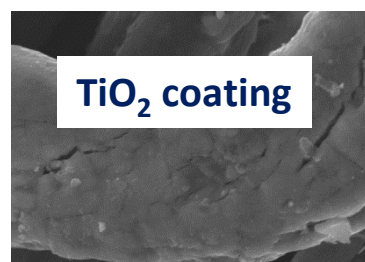
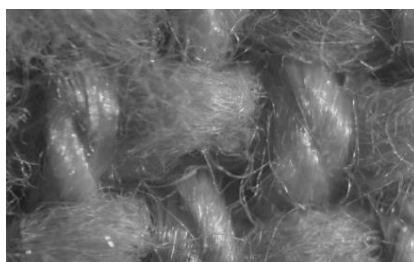
### HIGH PERFORMANCE TEXTILE

*The high affinity of metal-oxide nanostructure towards polar groups on the textile surface, ensures a good adhesion of ceramic phase, whose nanostructure does not alter the nature of textile substrate (colour, hand, breathability, mechanical properties). Protective coatings with flame retardant, anti-wear, hydrophilic/hydrophobic properties can be exploitable in the production of highly durable **Technical Textile**.*

### HIGHLY VERSATILE MULTIFUNCTIONAL MEDIA

*The hierarchical distribution of porosity of textile structure coupled with the nanostructure and intrinsic function of ceramic phase let to design new **Catalytic Devices**, easily separable, recoverable, durable, in clean technology application (environmental treatments, filtration industry, biotechnology, sensors).*

**Technological Transfer Activities** are documented by industrial research projects and start cup first prize: "CNR-II sole 24 Ore 2010" for the North Italy, with the project "Ceramic Textile".



TiO<sub>2</sub> coating

### Main Publications and Congress Contributions

- A. L. Costa, S. Orтели, M. Blosi, S. Albonetti, A. Vaccari, M. Dondi "TiO<sub>2</sub> based photocatalytic coatings: From nanostructure to functional properties" *Chemical Engineering Journal* 2013, 225, 880–886
- S. Orтели, M. Blosi, S. Albonetti, A. Vaccari, M. Dondi, A.L. Costa, "TiO<sub>2</sub> based nano-photocatalysis immobilized on cellulose substrates", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2013, 276, 58–64
- A. L. Costa "Ceramic textile: a simple approach towards highly versatile multifunctional media" AUS - Seventh International Conference on Advances in Engineering Materials (IMS-7), 2014, Sharjah, UAE

### Relevant Projects

- Coordinatore del progetto di ricerca PROBIOPOL, finanziato dal CNR, nell'ambito del programma La Fabbrica del Futuro, SP2, 2014, finalizzato allo sviluppo di dispositivi catalitici per il recupero di polioidrossialcanoati da biomasse.
- Partner del progetto di ricerca NANOTWICE, finanziato dal CNR, nell'ambito del programma La Fabbrica del Futuro, SP1, 2013-2014, finalizzato alla produzione di nano fibre tessili, arricchite con nano fasi ceramiche.
- Partner of MPNS COST Action (MP1105) "Sustainable flame retardancy for textiles and related materials based on nanoparticles substituting conventional chemicals" – FLARETEX – 2012-
- Partner della coordination action, finanziata da EU (FP7-290500) "Boosting collaboration between research centres and industry to enhance rapid industrial uptake of innovative functional textile structures and textile related materials in a mondial market" - 2BFUNTEX – 2012-2015, NMP.2011.2.3-3: Networking of materials laboratories and innovation actors in various industrial sectors for product or process innovation.

## TiO<sub>2</sub> based nanostructured coatings applied to textile

In the recent years, the textile industry has strongly focused interest towards nanotechnology. The use of nanometric particles increases the degree of adhesion of the treatment and its functionality. Nanoparticles of metal oxides have a particular affinity for the natural hydrophilic fibers and may be used in the finishing processes of fabrics to modify the surface properties and impart new functions to the product. In particular, coatings based on TiO<sub>2</sub> have attracted particularly attention due to their photocatalytic properties exploitable in processes of stain removal as well as for antibacterial and DeNO<sub>x</sub> activity. Cotton textiles are ceramized by sol-gel dip-pad-dry-cure method starting from TiO<sub>2</sub> commercial nanosols, with stabilized characteristics and a guaranteed reproducibility. The photocatalytic performances are evaluated in different experimental settings: particle/dye solution, particle/substrate/dye solution and particle/substrate/organic stain. Nanoscale properties such as nanostructure and surface chemistry as well as macroscale properties such as hydrophilicity influenced the photocatalytic activity and their control is fundamental in order to **IMPROVE THE PERFORMANCES OF SELF CLEANING FABRICS**.

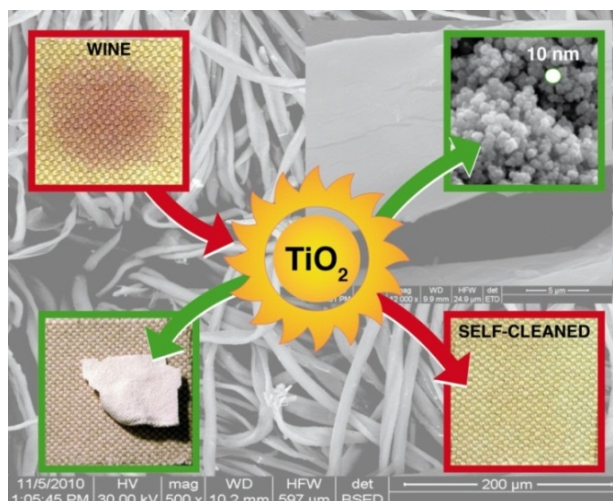


Figure 1\_ : Self cleaning properties

### As regards enterprises...

On this topic, we have strongly collaborated with the company Novaresin spa, that produced the first industrial samples of self-cleaning textile addressed to the industry of soft furnishings

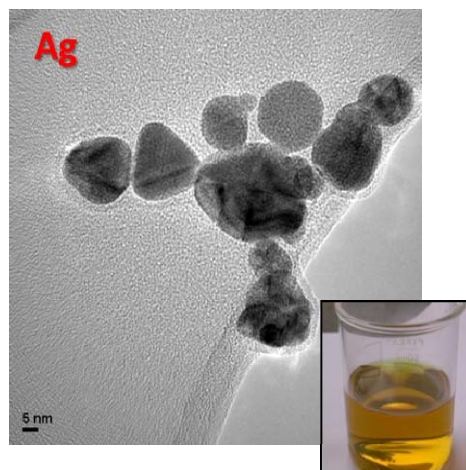
### Contact:

Anna Luisa Costa, [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)

## Nanosilver: a green solution for the antibacterial activity

Silver material and its compounds were well known and broadly used since ancient time for their strong inhibitory and bactericidal effects and nowadays, owing to the recent advances on metal nanoparticles (NPs) researches, a revived attention on antimicrobial application of Ag NPs is paying. One of the main technological applications of Ag nanosol deals with surface treatment, in order to produce antibacterial surfaces. In fact silver nanoparticles is a versatile material which can be applied on several kinds of surfaces as glass, tiles, textiles and so on, using different techniques like as spray gun, screen printing, dip coating, spin coating so providing antibacterial properties to all the treated substrates.

ISTEC developed several synthesis procedures useful to obtain silver nanoparticles in form of nanosols by using several green and eco-friendly processes. Due to their peculiar characteristics, the optimized synthesis routes are versatile and easily scalable on large production offering several advantages with respect to the processes described in the literature. The prepared nanoparticles have been fully characterized from a chemical point of view, moreover they showed outstanding antimicrobial activity against different bacteria strains. The experimental activity is now ongoing to better understand the antibacterial mechanisms together with the toxicologic aspects in order to explore new application fields.



### As regards enterprises

We collaborate with several companies and University of Parma on the study of the antibacterial properties.

We are author of a patent on a green synthesis of nanometals: WO2010EP52534 20100301.

We can offer research service on synthesis and application of nanosilver.

### Contact

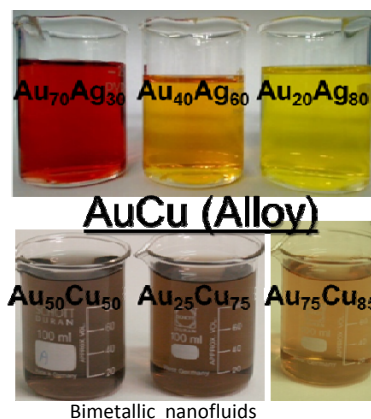
Magda Blosi ([magda.blosi@istec.cnr.it](mailto:magda.blosi@istec.cnr.it))



## Synthesis by design of nanofluids thermal vectors

Nanofluids are a new class of heat transfer fluids, engineered by dispersing nano-sized solid particles in different base fluids and exhibiting significantly higher thermal conductivity than base fluids. Nanofluids have attracted great interest due to their potential benefits and applications in important fields such as microelectronics, transportation, manufacturing, heating and ventilating and air-conditioning (HVAC). Nanofluids have to face many criticisms: colloidal stability over time, viscosity, surface tension represent key-factors which should be always considered concurrently. Several kinds of nanomaterials (metals and oxides) can be applied as thermal vector, but particularly noble metal nanoparticles represent promising material in terms of both chemical inertness and high thermal conductivity. Both monometals (Au, Ag, Cu, Pd) and bimetals (AuAg, AuCu, AgCu, PdCu) nanofluids are produced by ISTEC with a synthesis by design approach.

The synthesis by design approach represents a key strategy to develop tailored nanofluids with high performances, long colloidal stability and suitable viscosity. Noble metal nanofluids at ISTEC are produced by means of one-step methods, involving particle nucleation directly into the fluid and avoiding the two-step process which require a lot of energy to disperse pre-formed nanopowders with not satisfactory stability over time. At ISTEC the wet-chemical preparations of nanofluids are developed with a particular attention toward the scalability of the processes involving easily and versatile sol-gel synthesis, with not hazardous reagents and with water or glycols as solvents. Microwave-heating is often exploited to enhance the systems homogeneity and to accelerate the reactions. Recently interesting results have been achieved on water based and highly stable Au-nanofluids: a solid loading of 0.02%wt produces an enhancement of the heat transfer coefficient of 15%, as assessed in a devoted pilot plant.



Bimetallic nanofluids

### As regards enterprises.

We are collaborating with the *Lab. of Thermophysical Properties and Performance of Refrigerants and Nanofluids* (ITC-CNR).

We are author of a patent on the green synthesis of nanometals: WO2010EP52534 20100301.

#### Contact

Magda Blosi  
[magda.blosi@istec.cnr.it](mailto:magda.blosi@istec.cnr.it)

## Bio Catalytic Nanotools

Coupling nanoparticle sol-gel process technology with textile finishing or spinning techniques (Fig. 1) let to obtain HIGHLY VERSATILE MULTIFUNCTIONAL MEDIA, easily exploitable in environmental biotechnology, bioremediation, biodegradation, fields. The high scalability and sustainability of the process is guaranteed by the consolidated technologies involved in nanotech / sol-gel / colloidal and textile processes.

The widely accepted mechanism of antibacterial action is for both  $\text{TiO}_2$  and Ag nanomaterials a direct interaction of released  $\text{Ag}^+$  ions or  $\text{TiO}_2$  photo-induced oxidative radicals with bacteria membrane, leading to an increased permeability that causes free efflux of intracellular contents, accelerating cell death (Fig. 2). The immobilization of such nanoparticles into antibacterial active coatings, deposited on textile substrates, is the best strategy for an industrial exploitation of their catalytic properties (bio-catalytic nanotools), presenting the advantages of heterogeneous catalysis: high water and gas permeability of support, catalyst recovery by easy separation, minimal costs and environmental impact.

### As regard enterprises

The high versatility of proposed nanotools strongly attracts the interest of companies towards two very relevant industrial sectors: pharmaceutical and biotechnology. A current project funded under La Fabbrica del Futuro SP2 (PROBIOPOL: Innovative and Sustainable Production of Biopolymers) aims to exploit such nanotools in process of recovery of biopolymers from bacteria fermentation.

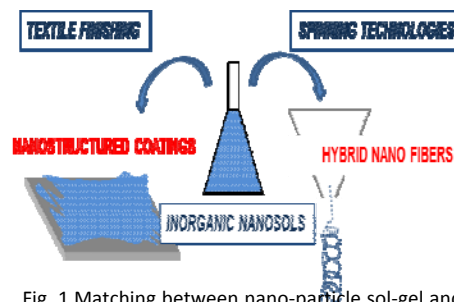


Fig. 1 Matching between nano-particle sol-gel and textile technologies

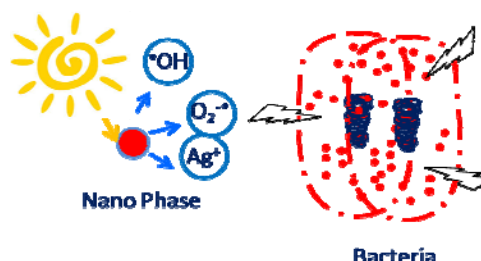


Fig. 2 Radicals or ions leached by  $\text{TiO}_2$  and Ag nanophases drive antibacterial action against bacteria

#### Contact

Anna Luisa Costa, [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)  
 Magda Blosi, [magda.blosi@istec.cnr.it](mailto:magda.blosi@istec.cnr.it)

## Pigmenti ceramici e Decorazione digitale

## Ceramic pigment &amp; Digital decoration

Responsabile scientifico: **Michele Dondi**, [michele.dondi@istec.cnr.it](mailto:michele.dondi@istec.cnr.it)

Collaboratori: Collaboratori: Magda Blosi, Anna Luisa Costa, Davide Gardini, Guia Guarini, Chiara Zanelli

Nella decorazione per piastrelle ceramiche passando dalle tecniche convenzionali al digitale si stanno sviluppando nuove opportunità, allo scopo di realizzare innovazioni di prodotto. La pressione proviene dalle maggiori aspettative per le prestazioni dei colori, dai controlli più severi sulle proprietà dei materiali e dai meccanismi di sintesi; si propende verso la trasformazione di pigmenti ceramici e coloranti per la stampa digitale in prodotti ingegnerizzati.

ISTEC sta contribuendo a creare nuove tecnologie di decorazione con lo sviluppo di inchiostri, polveri e il loro procedure di funzionalizzazione e di sintesi, per migliorare la resa, la stabilità e la durata nel processo ceramico.

I **pigmenti ceramici** sono cristalli colorati che vengono dispersi in una matrice vetrosa, in cui sono insolubili, allo scopo di impartire il colore attraverso una miscela eterogenea. Pigmenti ceramici sono largamente usati per colorare piastrelle, stoviglie, sanitari, smalti e vetri.

Presso ISTEC vengono sviluppati nuovi pigmenti, in collaborazione con università e imprese italiane e straniere, al fine di migliorare le proprietà ottiche, la stabilità nel processo ceramico, la produzione e il costo industriale, la salute e la sicurezza.

Hardystonite, blu  $\text{Ca}_2(\text{Zn},\text{Co})\text{Si}_2\text{O}_7$

Ematite rosso  $[\text{Fe}_2\text{O}_3]\text{SiO}_2$

Srilankite, giallo,  $\text{Zr}(\text{Ti}_{1-x-y}\text{Sn}_{x-y}\text{V}_y\text{Y}_y)\text{O}_4$

Pirocloro, viola,  $\text{Y}_2(\text{Sn},\text{Cr})_2\text{O}_{7-d}$

Rutilo, nero,  $\text{Ti}_{1-x-y}\text{V}_x\text{W}_y\text{O}_2$

Corindone, grigio-blu,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_x$

Pseudobrookite, marrone,  $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$

Spinello nero  $(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe},\text{Cr},\text{Mn})_3\text{O}_4$

*The process innovation from conventional to digital techniques in ceramic tiles decoration is driving new chances also to achieve product innovation. The pressure coming from higher expectations for colorant performance and stricter controls on both materials properties and synthesis mechanisms is turning ceramic pigments and dyes for digital printing into engineered products.*

*ISTEC is contributing to set up new decoration technologies by developing inks, powders and their functionalization and synthesis procedures, in order to improve yield, stability and durability in the ceramic process.*

*Ceramic pigments are coloured crystals that are dispersed into a vitreous matrix, in which are insoluble, to impart colour by heterogeneous mixture. Ceramic pigments are widely used to colour tiles, tableware, sanitaryware, glazes and glasses.*

*ISTEC is developing novel pigments, in collaboration with universities and companies in Italy and abroad, in order to improve optical properties, stability in the ceramic process, industrial manufacturing and cost, health and safety.*

*Hardystonite, blue  $\text{Ca}_2(\text{Zn},\text{Co})\text{Si}_2\text{O}_7$*

*Hematite, red  $[\text{Fe}_2\text{O}_3]\text{SiO}_2$*

*Srilankite, yellow,  $\text{Zr}(\text{Ti}_{1-x-y}\text{Sn}_{x-y}\text{V}_y\text{Y}_y)\text{O}_4$*

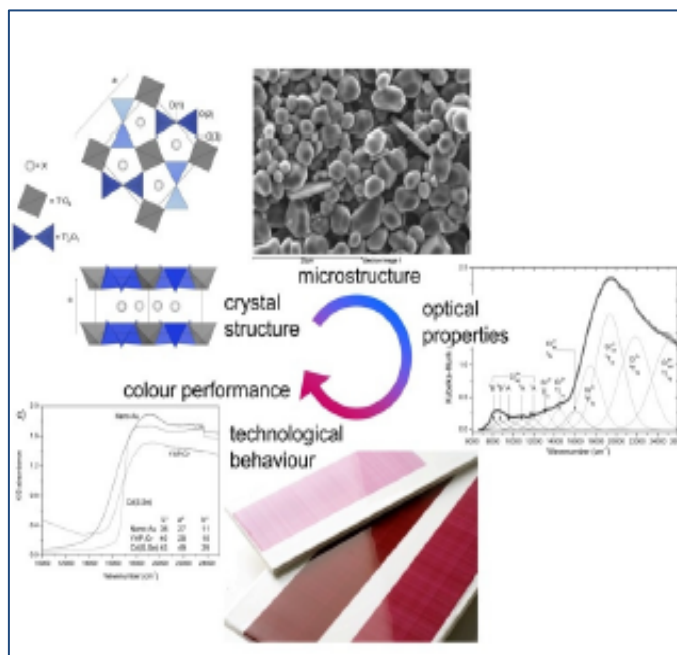
*Pyrochlore, violet,  $\text{Y}_2(\text{Sn},\text{Cr})_2\text{O}_{7-d}$*

*Rutile, black,  $\text{Ti}_{1-x-y}\text{V}_x\text{W}_y\text{O}_2$*

*Corundum, gray-blue,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_x$*

*Pseudobrookite, brown,  $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$*

*Spinel, black  $(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe},\text{Cr},\text{Mn})_3\text{O}_4$*



### Main Publications

- Dondi M., Zanelli C., Ardit M., Cruciani G., Mantovani L., Tribaudino M., Andreozzi G.B. Ni-free, black ceramic pigments based on Co-Cr-Fe-Mn spinels: A reappraisal of crystal structure, colour and technological behaviour *Ceramics International* 39 (8), 2013, 9533-9547.
- Dondi M., Ardit M., Cruciani G. Next neighbors effect along the Ca-Sr-Ba-åkermanite join: Long-range vs. short-range structural features *Journal of Solid State Chemistry* 2012, 1023, 134-142.
- Hajjaji W., Pullar R.C., Zanelli C., Seabra M.P., Dondi M., Labrincha J.A. Compositional and chromatic properties of strontium hexaferrite as pigment for ceramic bodies and alternative synthesis from wiredrawing sludge *Dyes and Pigments* 96, 2013, 659-664.
- Dondi M., Blosi M., Gardini D., Zanelli C. Ceramic pigments for digital decoration inks: An overview *CFI Ceramic Forum International* 89, 2012, E59-E64.
- Ardit M., Cruciani G., Dondi M. Structural relaxation in tetrahedrally coordinated  $\text{Co}^{2+}$  along the gahnite-Co-aluminate spinel solid solution *American Mineralogist* 97, 2012, 1394-1401.
- Hajjaji W., Costa G., Zanelli C., Ribeiro M.J., Seabra M.P., Dondi M., Labrincha J.A. An overview of using solid wastes for pigment industry *Journal of the European Ceramic Society* 32, 2012, 753-764.
- Blosi M., Albonetti S., Gatti F., Baldi G., Dondi M. Au-Ag nanoparticles as red pigment in ceramic inks for digital decoration (2012) *Dyes and Pigments* 94, 2012, 355-362.

## Safety by design: un nuovo approccio per gestire il rischio dei nanomateriali

## Safety by design: new approach to face nanomaterials risk management

Responsabile scientifico: **Anna Luisa Costa** [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Magda Blosi, Davide Gardini, Simona Ortelli, Camilla Delpivo, Luca Viale

### INGEGNERIZZAZIONE DI NANO-FASI

L'esperienza maturata nel campo della scienza colloidale è stata fruttuosamente trasferita al controllo del confinamento delle nano fasi e alla gestione della loro chimica superficiale, aprendo nuove sfide verso la mitigazione dell'impatto nocivo che i nanomateriali possono arrecare alla salute.

### IMPATTI ATTESI

- Lo sviluppo di strategie pratiche ed efficaci per la riduzione dell'esposizione dei lavoratori a NM durante tutte le fasi della produzione, dell'utilizzo e dello smaltimento.
- Un contributo al raggiungimento degli obiettivi proposti dall'Unione Europea in materia di Nanosafety.
- Un sostegno alla coesione e integrazione della ricerca nel campo di Nanosafety a livello Europeo ed Internazionale.

### PROGETTI FINANZIATI DALL'EU

ISTEC sta attualmente coordinando il progetto di collaborazione FP7: **SANOWORK (FP7-280716)**, focalizzato sullo sviluppo di strategie di «safety by design» per la gestione del rischio occupazionale dei nanomateriali ed è coinvolto, come WP leader, nel progetto **SUN FP7 (FP7-NMP-2013-LARGE-7-604.305)**, indirizzando la ricerca verso lo sviluppo di nano-prodotti e nano-processi sicuri.



### NANO-PHASES ENGINEERING

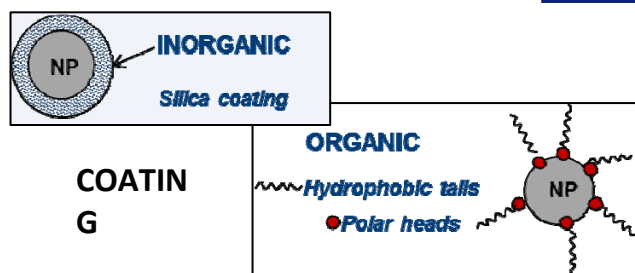
*The experience gained in the field of colloidal science has been fruitfully transferred to the control of nano particles (NPs) confinement and surface chemistry, opening new challenges towards the control of potentially adverse health impact of nanomaterials.*

### EXPECTED IMPACTS

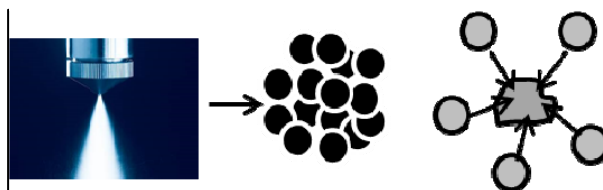
- *The development of practical and cost effective strategies for reduction of worker exposure to NMs during all stages of NMs production, use and disposal.*
- *The contribution to the advancement of EU NanoSafety cluster goals and agenda.*
- *The facilitation of research cohesion and integration in this field at european level.*

### EU FUNDED PROJECTS

*ISTEC is currently coordinating the FP7 collaborative project: **SANOWORK (FP7-280716)**, focused on the development of "safety by design" strategies to the occupational risk management of nanomaterials and is involved, as WP leader, in the FP7 project **SUN (FP7-NMP-2013-LARGE-7-604305)**, addressing research to safe nano-products and nano-processes.*



### NANO IN MICRO TECHNOLOGIES



### Main Publications and Congress Contributions

- A. L. Costa, "A Rational Approach for the Safe Design of Nanomaterial", *Nanotoxicology: Progress toward Nanomedicine*, Second Edition, March 3, 2014 by CRC Press Content, Editor(s): Nancy A. Monteiro-Riviere; C. Lang Tran00894k (2014)
- D Gardini, M Blosi, C Delpivo, S Ortelli and A. L. Costa, "Silica-coating as protective shell for the risk management of Nanoparticles" *Journal of Physics: Conference Series* 2013, 429
- B. M. Rotoli, O. Bussolati, A. L. Costa, M. Blosi, L. Di Cristo, P. P. Zanello, M. G. Bianchi, R. Visigalli, E. Bergamaschi, Comparative effects of metal oxide nanoparticles on human airway epithelial cells and macrophages, *J Nanopart Res.* 2012, 14 (9), 1
- A.L. Costa "Safe by design approach: industrial driven strategies for nanomaterials risk management" *Nanotech Italy 2012*, Venice, Italy
- A.L. Costa, "SANOWORK (Safe Nano Worker Exposure Scenarios)" *WORKSHOP Safety Issues and Regulatory Challenges of Nanomaterials*, 2012, San Sebastián, Spain
- A. L. Costa "Safety by Design of engineered nanomaterials: EU collaborative SANOWORK project approach" *WORKSHOP 2nd Italian-Swedish Workshop on Health Impacts of Engineered Nanoparticles*, 2012, Stockholm, Sweden
- A.L. Costa "Safety by design approach to manufacturing risk management" *6th European Conference of "N.I.C. – Nanotechnology in Chemical Industry"* 2012, FEDERCHIMICA, Milano, Italy
- A. L. Costa "Designing "safe" nanomaterials" *QNano Conference*, 201, Prague
- A. L. Costa "SANOWORK SAFE NANO WORKER EXPOSURE SCENARIOS (1st YEAR)" *nanoLCA 2013: joint workshop* 2013, Barcelona, Spain
- A. L. Costa "Safety by designing surface-modified nanomaterials (Sanowork)" *10th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies – NN13*, 2013, Thessaloniki, Greece
- A. L. Costa "Nanosafety research: the other side of the coin" *1st International Conference on Materials in Medicine*, 2013, - Faenza, Italy
- A. L. Costa "Safety by nano-design strategies applied to real industrial case studies" *Nanotech Italy 2013*, Venezia, Italy

## Sospensioni colloidali

## Colloidal suspensions

Responsabile scientifico: **Davide Gardini**, [davide.gardini@istec.cnr.it](mailto:davide.gardini@istec.cnr.it)

Collaboratori: Carlo Baldisserrri, Magda Blosi, Anna Luisa Costa, Michele Dondi, Carmen Galassi, Andreana Piancastelli

Le sospensioni colloidali, sistemi costituiti da particelle solide sub-micrometriche disperse all'interno di una fase liquida, rivestono un ruolo centrale in moltissime applicazioni tecnologiche e, in particolar modo, nei processi di produzione di materiali ceramici secondo il cosiddetto approccio colloidale.

ISTEC si occupa dello studio della stabilità colloidale e della reologia di tali sistemi sia dal punto di vista prettamente scientifico, al fine di comprendere i meccanismi che stanno alla base dei comportamenti osservati, sia da quello tecnologico, al fine di progettare formulazioni efficaci per nuovi materiali, migliorare le rese dei processi produttivi, incrementare la qualità dei prodotti, risolvere problemi impiantistici.

La scelta delle formulazioni e le modalità di trattamento delle polveri secondo il processo colloidale costituiscono le fasi del processo nelle quali intervenire per avere un adeguato controllo delle proprietà delle sospensioni colloidali in relazione alle applicazioni cui sono destinate.

In collaborazione con aziende, università e istituti di ricerca, italiani ed europei, sono state studiate e caratterizzate sospensioni colloidali per diverse applicazioni:

- Inchiostri serigrafici per la produzione di celle a combustibile ad ossidi solidi.
- Inchiostri serigrafici per la produzione di membrane per la separazione di ossigeno.
- Sospensioni acquose da gel casting per la produzione di piezoceramici.
- Inchiostri per stampa a getto d'inchiostro per la decorazione di piastrelle ceramiche.
- Sospensioni acquose di particelle con proprietà magnetiche e fotocatalitiche per la depurazione di acque reflue.
- Sospensionidi idrossiapatite per la produzione di dispositivi biomedicali.

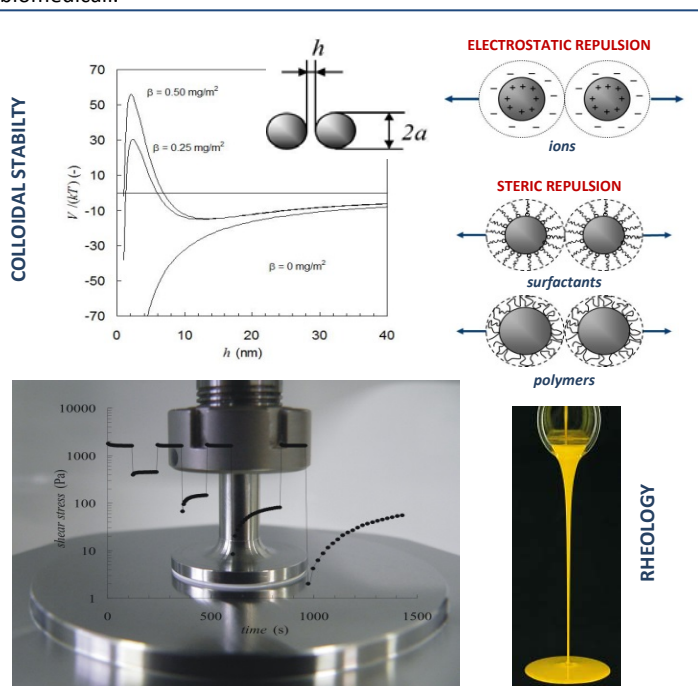
*The colloidal suspensions, systems consisting of sub-micrometric solid particles dispersed within a liquid phase, play a central role in many technological applications and, in particular, in the processes of production of ceramic materials by the so-called colloidal approach.*

*ISTEC deals with the study of the colloidal stability and rheology of such systems both from a purely scientific point of view, in order to understand the mechanisms that underlie the observed behaviors, and from the technological point of view, in order to design effective formulations for new materials, improve yields of manufacturing processes, increase product quality, solve plant-management problems.*

*The choice of formulations and methods of powder treatment by the colloidal processing are the stages of the process in which to intervene in order to have a proper control of the properties of colloidal suspensions in relation to applications for which they are addressed.*

*In collaboration with industries, universities and research institutes, Italians and Europeans, colloidal suspensions for different applications have been studied and characterized:*

- Screen printing inks for the production of solid oxide fuel cells.
- Screen printing inks for the production of membranes for the separation of oxygen.
- Aqueous suspensions by gel casting for the production of piezoceramics.
- Ink-jet printing inks for the decoration of ceramic tiles.
- Aqueous suspensions of particles with magnetic and photocatalytic properties for the purification of wastewater.
- Suspensions of hydroxyapatite for the production of biomedical devices.



### Main Publications

- Gardini D., Baldisserrri C., Galassi C., The central role of interparticle forces in colloidal processing of ceramics, Chap. 6, pp. 131-153, in Colloid and Interface Chemistry for Nanotechnology, Eds. P. Kralchevsky, R. Miller, F. Ravera, Progress in Colloid and Interface Science, Vol. 4, CRC Press Taylor & Francis (2013) (ISBN 978-1-4665-6905-8).
- Gardini D., Blosi M., Delpivo C. Ortelli S., Costa A.L., Silica-coating as protective shell for the risk management of nanoparticles, Nanosafe 2012: Intern. Conf. on Safe Production and use of NMs, J. of Physics Conf. Series, 429 (2013) 012052.
- Dondi M., Blosi M., Gardini D., Zanelli C., Ceramic pigments for digital decoration inks: an overview, CFI - Ceramic Forum International 89 (2012) 8-9.
- Baldisserrri C., Gardini D., Galassi C., A controlled colloidal destabilization approach for the electrophoretic deposition (EPD) from cobalt ferrite and magnetite nanoparticles suspensions in DEG, Key Eng. Mat., 507 (2012) 85-88.
- Gardini D., Galassi C., Misure viscometriche su sospensioni di allumina in paraffina fusa, Atti XII Convegno dell'Associazione Italiana di Reologia (2012), 271-276.

### Relevant projects

- EU Support Action. SENERES-Sustainable Energy Research and Development Centre. 2011-2014



**ENERGIA E AMBIENTE**

***ENERGY & ENVIRONMENT***

**Celle solari a sensibilizzante organico (DSSC)**

**Dye sensitized solar cell (DSSC)**

Responsabile scientifico: **Alessandra Sanson** [alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)

Collaboratori: Alex Sangiorgi, Riccardo Bendoni, Nicola Sangiorgi, Chiara Zanelli, Andreana Piancastelli

Le celle solari a sensibilizzante organico, dette anche celle di Grätzel, sono dispositivi utilizzati per convertire direttamente la luce solare in energia elettrica. Nel 1991 O'Regan e Grätzel realizzarono i primi prototipi per questa tecnologia con buona efficienza utilizzando materiali meno pregiati e costosi del silicio monocristallino.

Le DSSCs (Dye Sensitized Solar Cells) sono costituite da multistrati di materiali a "band gap" selezionato che permettono l'assorbimento dei fotoni e la loro trasformazione in energia elettrica. Cuore del sistema è uno strato di semiconduttore inorganico (generalmente TiO<sub>2</sub>) che presenta la duplice funzione di ricevitore degli elettroni ad alta energia generati dal colorante organico in seguito all'assorbimento di fotoni e di supporto allo stesso. In entrambi i casi la struttura porosa è essenziale.

ISTEC si occupa dello studio e dell'ottimizzazione di prototipi di celle DSSC rigide e flessibili, con particolare attenzione a nuovi materiali e tecnologie per la realizzazione degli strati ceramici semiconduttori. Vengono inoltre sfruttate le competenze presenti sullo sviluppo e produzione di vetroceramici a basso punto di fusione per sviluppare adatti sistemi sigillanti

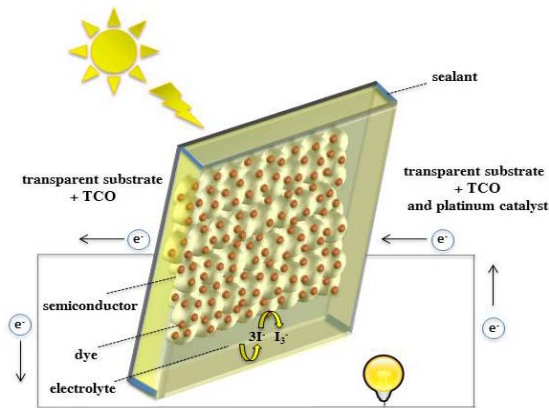
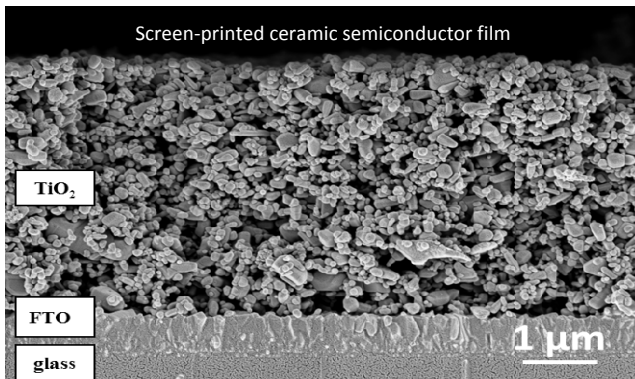
I prototipi vengono studiati e prodotti con tecniche e materiali direttamente legati al mondo industriale per una riduzione di tempi e costi che induca una più rapida introduzione di questo prodotto sul mercato.

*Dye Sensitized solar cells, also known as Grätzel cells, are devices used to directly convert solar light into electricity. In 1991 O'Regan and Grätzel realized the first prototype of solar cell with good efficiency using low-cost materials if compared to silicon solar cell.*

*DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) are made of multilayer materials with selected band gap that allow photon adsorption and electron injection in the conduction band of the anodic material to produce electric energy. Heart of the system is a semiconductor layer (generally TiO<sub>2</sub>) that can either receive the high energy electrons coming from the dye and support the dye itself. For both functions the porous structure is highly important and must be carefully optimized.*

*ISTEC is mainly involved in the design and optimization of the semiconductor ceramic layers for both rigid and flexible DSSC studying either the material and the deposition techniques. Moreover, the competences on glass ceramic systems are used to develop suitable sealing systems.*

*The solar cell prototype is ideated in view of its industrial production; for this reason the selection of materials and shaping processes are directed toward the minimization of the time and production costs.*



Schematic diagram of the energy flow in the dye-sensitized solar cell

**Main Publications and Relevant Projects**

- "Celle fotovoltaiche DSSC flessibili basate su materiali innovativi e coloranti di origine naturale e sintetica di nuova concezione (Flexmat)" POR-FESR Piemonte 2007-2013;
- "Studio e ottimizzazione dei sistemi alternativi di produzione di celle solari di terza generazione – Laboratorio Energia DSSC" POR-FESR Emilia-Romagna 2007-2013;
- "Smart Nano-structured Devices Hierarchically Assembled by Bio-mineralization Processes" SMILEY: NMP-2012-SMALL-6-310637;
- A. Sangiorgi, R. Bendoni, N. Sangiorgi, A. Sanson, B. Ballarin, "Optimized TiO<sub>2</sub> blocking layer for dye-sensitized solar cells", Ceramics International, In Press.



Dye-sensitized solar cell prototypes

## Transparent Coloured Photovoltaic Cells

In recent decades, the increase in energy consumption caused an increase in the environmental contamination determining the necessity of application of renewable energy. A good solution can be provided by third generation solar cells called "Dye Sensitized solar Cells" (DSCs).

These photo-electrochemical devices represent a low cost and environmental friendly solution for the direct conversion of solar radiation into electrical current. Moreover, due to their high transparency, DSCs can be applied in a wide range of applications such as the building integrated photovoltaic (BIPV).

ISTEC develops new materials for highly transparent photo anodes and sealing materials and their application in final DSC devices built on different substrates. At the moment we are studying alternative photoanode materials whereas in collaboration with University of Bologna we are developing new dyes and electrolytes.

The as-obtained devices are characterized in terms of cell performances (current- voltage behaviour and light-to- electricity conversion), film microstructures, electrochemical properties and interface interactions.

### With regards to enterprises...

ISTEC cooperated with some industries. In particular, in the frame of POR-FESR Emilia Romagna, with Daunia Solar Cells (Ravenna) and Cooperativa Impronte (Ravenna).

We can offer research and characterization services on new materials for PV applications.

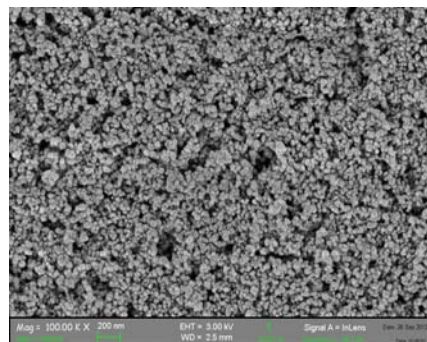


Photo anode engineered microstructure

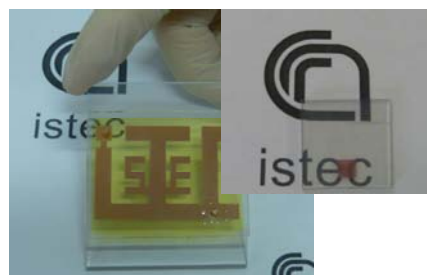


Photo anodes sensitized with different dyes

### Contacts:

Alessandra Sanson,  
[alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)



**Elettrolizzatori ad Ossido solido (SOEC)****Solid Oxide Electrolyzer (SOEC)**

Responsabile scientifico: **Alessandra Sanson** [alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)  
 Collaboratori : Angela Gondolini, Paola Pinasco, Cesare Melandri

Le celle elettrolitiche ad ossidi solidi (SOEC) vengono prodotte in ISTEC partendo da polveri ottenute mediante sintesi convenzionale allo stato solido o sintesi chimica (precipitazione, sol-gel, etc.). Queste celle vengono realizzate depositando i vari strati su di un elemento scelto come supportante e prodotto per colaggio su nastro. Con questa tecnica sono stati prodotti substrati di tutti gli elementi utilizzati per applicazioni SOEC:

- anodi:  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  (LSCF),  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  (LSM);
- catodi:  $\text{NiO}/(\text{Zr},\text{Y})\text{O}_2$ ,  $\text{NiO}/\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ ,  $\text{NiO}/\text{Ba}(\text{Ce},\text{Y},\text{Zr})\text{O}_3$ ;
- elettroliti:  $(\text{Zr},\text{Y})\text{O}_2$ ,  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ .

Un attento studio dei trattamenti termici necessari al consolidamento ha permesso la realizzazione di comparti supportanti di dimensioni fino a 15x15 cm (in Figura) con microstruttura adeguata al ruolo svolto nella cella.

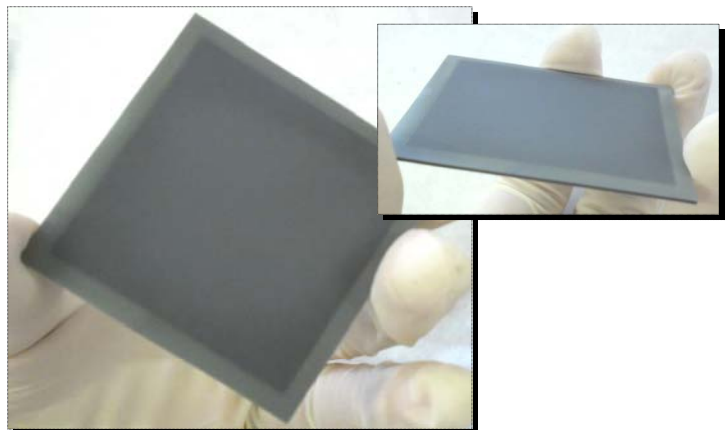
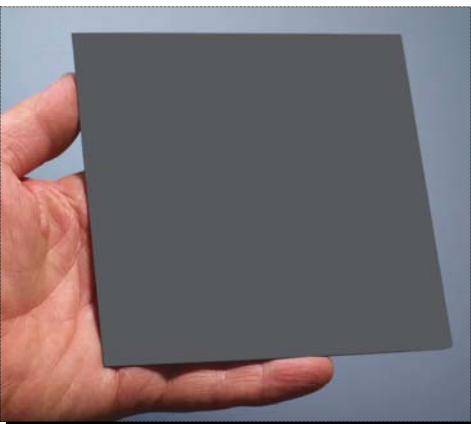
Tra le tecniche possibili per la deposizione di strati sul comparto supportante, ISTEC ha scelto la serigrafia e spray atmosferico, tecniche ben note all'industria elettronica e quindi facilmente scalabili. La semicella (elemento supportante/elettrolita) viene comunemente sinterizzata in "co-firing" per diminuire i costi e semplificare il processo produttivo. Per l'ottenimento della cella completa (elemento supportante/elettrolita/elettrodo) è necessario un ulteriore trattamento termico dopo la deposizione del secondo elettrodo. Per ridurre il tempo di produzione e i relativi costi ISTEC ha sviluppato per la prima volta un processo completo di co-firing che permette di produrre un'intera SOEC anodo supportata dalle polveri di partenza utilizzando un unico trattamento termico.

*SOEC are produced at ISTEC starting from powders obtained by conventional solid state synthesis or chemical routes (precipitation, sol-gel, etc.). The powders are synthesized with characteristics suitable for the subsequent shaping processes. The cell fabrication consists in depositing the cell elements onto a supporting-element produced by tape casting. All the possible substrates for SOEC were produced with this technique:*

- *anodes:  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  (LSCF),  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$  (LSM);*
- *cathodes:  $\text{NiO}/(\text{Zr},\text{Y})\text{O}_2$ ,  $\text{NiO}/\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ ,  $\text{NiO}/\text{Ba}(\text{Ce},\text{Y},\text{Zr})\text{O}_3$ ;*
- *electrolytes:  $(\text{Zr},\text{Y})\text{O}_2$ ,  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ .*

*Products with dimensions up to 15x15 cm (in Figure) were obtained after the thermal treatment needed to reach a suitable densification or porosity level for the electrolyte or the electrodes respectively.*

*The other layers are applied onto the tape cast supporting element via screen printing and or atmospheric spray. These techniques have been developed for their low cost and easy scalability. The half-cell (supporting element-electrolyte) is generally sintered via co-firing treatment in order to lower the costs and simplify the production process. To obtain the complete cell (supporting element/electrolyte/electrode - Figure) a further thermal treatment is necessary after the deposition of the second electrode. To reduce the production steps and therefore the costs, ISTEC has developed for the first time a complete co-firing process that allows the production of the complete cell in a single heat treatment of the starting powders.*



Supporting element (on the left) and final SOEC device (on the right) produced at ISTEC

### Main Publications and Congress Contributions

- A. Gondolini, E. Mercadelli, P. Pinasco, A. Sanson "Single Step Production of Cathode Supported SOFC" ICACC 38th Daytona Beach, Florida, 2014.
- A. Gondolini, E. Mercadelli, C. Zanelli, C. Melandri, A. Sanson "Alternative production route for supporting  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ - $\delta$ - $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$ - $\delta$  (LSM-GDC)" International Journal of Hydrogen Energy 37 [10] (2012) 8572-8581.
- A. Gondolini, E. Mercadelli, A. Sanson "Single Step Process for Cathode Supported half-cell", 10th European SOFC Forum, Lucerna, 2012.



## Celle a combustibile a ossido solido (SOFC)

## Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)

Responsabile scientifico: **Alessandra Sanson** [alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)

Collaboratori : Angela Gondolini, Aurora Caldarelli, Elisa Mercadelli, Paola Pinasco, Goffredo de Portu, Cesare Melandri

L'attività ISTEC è principalmente rivolta allo studio e ottimizzazione di quei processi ceramici affidabili e facilmente industrializzabili che consentano l'ottenimento dei dispositivi sopracitati in modo economicamente vantaggioso e il più possibile eco-compatibile. Sfruttando quindi tecniche già note all'industria ceramica tradizionale come: colaggio su nastro, pressatura, serigrafia, spruzzo atmosferico, ISTEC lavora all'ottimizzazione del ciclo di produzione di SOFC delle tre generazioni di celle planari:

- elettrolita-supportate,
- elettrodo-supportate,
- metallo-supportate.

I materiali elettrolitici utilizzati spaziano dalla convenzionale zirconia stabilizzata con ittria (YSZ) alla più innovativa ceria drogata con gadolinia (GDC) e più recentemente ai conduttori protonici a base di cerati-zirconati di bario (BCY, BCZY). Principale obiettivo è l'individuazione delle relazioni che intercorrono tra proprietà iniziali delle polveri, microstruttura ed efficienza elettrochimica del prodotto finale, conoscenze fondamentali per l'ottimizzazione dell'intero processo per la produzione di SOFC. A questo scopo ISTEC si occupa dell'intero processo ceramico necessario alla realizzazione di una SOFC, dalla sintesi delle polveri alla loro formatura e sinterizzazione, nonché della loro caratterizzazione chimico-fisica e microstrutturale.

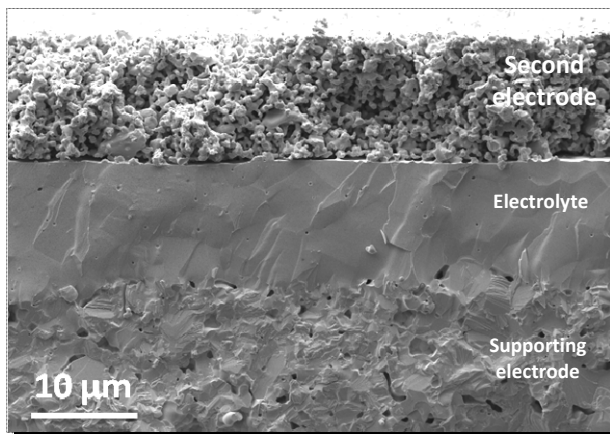
*ISTEC activities mainly deal with the study and optimization of those ceramic processes cheap and easily scalable able to produce the abovementioned ceramic devices in an easy and environmental friendly way.*

*ISTEC exploits the most common techniques used in the traditional ceramic industry: tape casting, die pressing, screen printing, powder wet spray, to optimize the production of the three generations of planar SOFC:*

- electrolyte-supported cells,
- electrode-supported cells,
- metal-supported cells.

*The conventional yttria stabilized zirconia (YSZ) as well as the most innovative gadolinia doped ceria (GDC) and more recently proton conductors based on barium cerate-zirconate (BCY, BCZY) are used as electrolytic materials. The main objective of the research is to individuate the relation that links powders properties with microstructure and electrochemical performances of the final object, key issue to optimize the whole process for the SOFC production.*

*For this purpose ISTEC is devoted to the SOFC production optimizing the whole ceramic process, starting from the powders synthesis to their forming and sintering as well as their chemico-physical and microstructural characterization.*



Final SOFC device (on the left) and its microstructure (on the right).

### Main Publications and Congress Contributions

- E. Mercadelli, P. Pinasco, A. Gondolini, A. Sanson "Technological Issues in the Manufacturing of Anode-Supported Half-Cells" ECS Transactions, 57[1] (2013) 823-832.
- A. Sanson, E. Mercadelli, A. Gondolini, P. Pinasco "Unconventional Approaches for the Production of Large Area SOFC" ECS Transactions, 57[1] (2013) 717-726.
- M. Viviani, E. Mercadelli, A. Sanson, et al. "Innovative Dual Membrane Architecture for Reversible Fuel Cells", ECS Transactions, 57 [1] (2013) 3143-3149.
- I. Luisetto, S. Licocchia, A. D'Epifanio, A. Sanson, E. Mercadelli, E. Di Bartolomeo "Electrochemical performance of spin coated dense BaZr<sub>0.80</sub>Y<sub>0.16</sub>Zn<sub>0.04</sub>O<sub>3-d</sub> membranes" Journal of Power Sources, 220 (2012) 280-285.

### Relevant projects

- FCH-JU (2012-) "Evolved materials and innovative design for high performance, durable and reliable SOFC cell and stack" (EVOLVE)
- Accordo di Programma MISE-CNR (2007-) "Celle a combustibile per applicazioni stazionarie e cogenerative"
- PRIN (2013-) "Celle a combustibile ad Ossido Solido operanti a temperatura intermedia (IT-SOFC) alimentate a bio-combustibile"

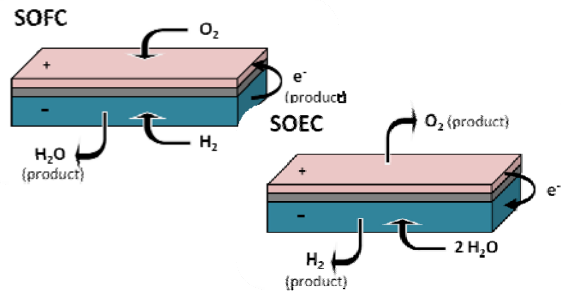
## Solid oxide fuel and electrolysis cells (SOFC/SOEC)

**Solid oxide fuel cells (SOFCs)** and **solid oxide electrolyzer cells (SOECs)** are electrochemical devices that convert chemical energy into electric power or produce pure  $H_2$  and  $O_2$  through electricity operating at high temperatures (500-800°C). SOFCs have great potentials as power supplier for stationary and mobile applications; SOEC (that work in the reverse mode of SOFC) can be applied for the conversion and storage of clean and renewable energy sources into alternative energy carriers like  $H_2$ , synthetic fuels and the production of pure  $O_2$ . The choice of high performing materials and compositions and the optimization of the layer microstructures are the key points for the development of SOFC/SOEC devices showing the desired properties.

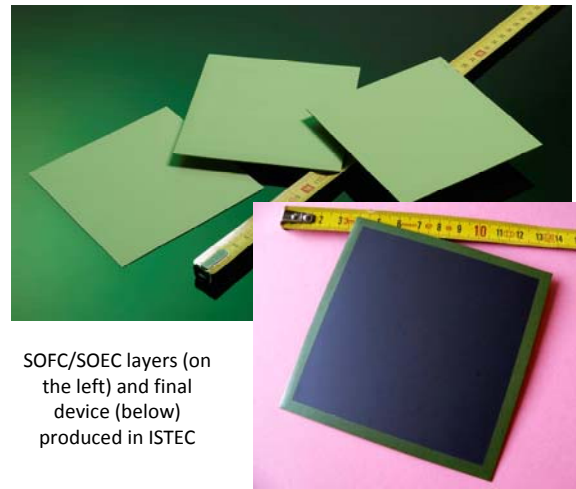
### With regards to enterprises...

In this topic, we collaborated (among the others) with CNR-ITAE, CNR-IENI, Politecnico di Torino, University of Tor Vergata and German Aerospace Center (DLR, Stuttgart).

We can offer: design, synthesis and optimization of micro-, nano-powders and their suspensions; development, optimization and scale up of the shaping processes for real conditions trials; chemical-physical and morphological characterizations.



Schematic diagrams of SOFC/SOEC operation



SOFC/SOEC layers (on the left) and final device (below) produced in ISTEC

Tape casting equipment



### Contacts:

*Alessandra Sanson*

[alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)



Screen printing equipment

## Sintesi di nanopolveri e nanolubrificanti per applicazioni energetiche e tribologiche

Responsabile scientifico: **Alessandra Sanson** [alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Elisa Mercadelli, Angela Gondolini

La realizzazione di manufatti ceramici ad alta efficienza oltre che a tecnologie di produzione accuratamente studiate, dipende fortemente dalle caratteristiche chimico-fisiche delle polveri di partenza utilizzate. Presso l'ISTEC sono stati implementati metodi di sintesi convenzionali applicando innovati sistemi di riscaldamento (es. microonde, infrarossi) per la produzione di particelle a base di ceria ad elevata reattività chimico-fisica e massimo controllo di purezza e morfologia. Questi sistemi sono stati sfruttati sia per applicazioni catalitiche che come polveri elettrolitiche ad alte prestazioni per applicazioni SOFC/SOEC.

Nel caso di fluidi lubrificanti, ISTEC ha messo a punto un innovativo metodo di sintesi a singolo step per la produzione di prodotti apolari altamente performanti e stabili nel tempo. Questi sistemi additivati con nanoparticelle a base sia metallica che ossidica, permettono di migliorare varie proprietà dei fluidi tradizionali, tra cui il coefficiente di attrito, la resistenza all'usura, la capacità di carico e la resistenza a pressioni elevate, superando in gran parte il problema della sedimentazione tipico delle sospensioni realizzate con particelle di dimensioni milli- o micro-metriche.

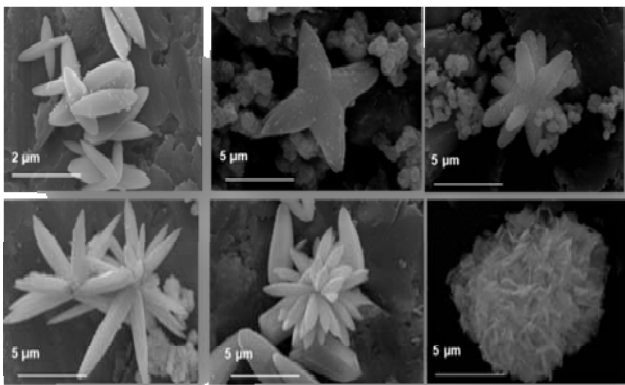
## Synthesis of nanopowders and nanolubricants for energetics and tribological applications

*Besides the process technologies used, the successful production of high efficient ceramics is strictly related to the chemical-physical characteristics of the starting powders.*

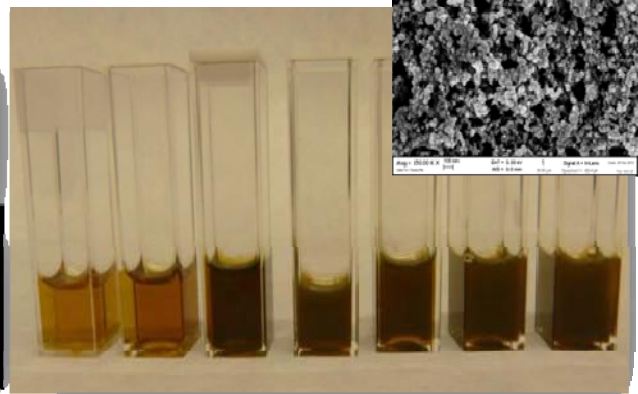
*For this objective, ISTEC has implemented conventional synthesis method applying innovative heating systems (i.e. microwaves, infrared) for the production of ceria-based powders with high chemical-physical reactivity and high purity and morphological control. These systems have been exploited for catalytic applications and as high-efficient electrolytic powders for SOFC/SOEC applications.*

*For the production of lubrication fluids, ISTEC has developed an innovative single step synthesis method to obtain apolar high performant and stable products.*

*The incorporation of either metallic- and oxide-based nanoparticles allows the improvement of several properties of conventional fluids, as the friction coefficient, the wear resistance, the loading capacity, the resistance at high pressures, overcoming sedimentation phenomena typical of suspensions produced with micro- or millimetre particles*



Morphology-controlled CeO<sub>2</sub> powders for catalytic applications



Nanolubricants additivated with nanometals (Cu or Ag)

### Main Publications

- A. Gondolini, E. Mercadelli, A. Sanson, S. Albonetti, L. Doubova, S. Boldrini "Effects of the microwave heating on the properties of gadolinium-doped cerium oxide prepared by polyol method", Journal of the European Ceramic Society, 33 (2013) 67–77
- E. Mercadelli, G. Ghetti, A. Sanson, R. Bonelli, S. Albonetti "Synthesis of CeO<sub>2</sub> nano-aggregates of complex morphology" Ceramics International, 39 (2013) 629–634
- V. Zin, F. Agresti, S. Barison, L. Colla, A. Gondolini, M. Fabrizio "The Synthesis and Effect of Copper Nanoparticles on the Tribological Properties of Lubricant Oils" IEEE Transactions on Nanotechnology 12 [5] (2013) 751-759.
- A. Gondolini, E. Mercadelli, A. Sanson "One step synthesis of nanolubricant with metallic particles suitable for internal combustion engines fed with natural gas" Report N°02/12 of 24/08/2012

### Relevant Project

MiSE "Nuovi materiali e nuove tecnologie per un cogeneratore prototipo a combustione interna" (MATEC) (2011)

## Sistemi Ceramici di Accumulo Elettrico (Batterie ZEBRA)

Responsabile scientifico: **Elisa Mercadelli** [elisa.mercadelli@istec.cnr.it](mailto:elisa.mercadelli@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Alessandra Sanson, Claudio Capiani, Paola Pinasco

Le batterie ZEBRA (Zero Emission Battery Research Activities), grazie all'elevata densità di energia e potenza, costituiscono una delle migliori soluzioni alla moderna richiesta di accumulo energetico per l'uso stazionario e alla domanda di mobilità sostenibile con le auto elettriche ed ibride. Questi sistemi sono costituiti da celle nickel-sodio cloruro, operanti ad alta temperatura (circa 270°C-350 °C), racchiuse in un contenitore termico e utilizzano un tubo ceramico o una membrana planare di Na-β"-allumina come elettrolita solido. Il processo ceramico è fondamentale per potere incrementare le prestazioni delle batterie ed adeguarle alle richieste relative all'uso in regime stazionario. Ogni minimo scostamento in termini composizionali o di processo modifica infatti fortemente le proprietà finali del manufatto.

Le competenze di ISTEC riguardano lo studio ad hoc del processo produttivo, dalla sintesi delle polveri alla loro formatura al finale consolidamento termico, necessario a produrre membrane di β"-allumina sia in geometria tubolare che planare con adeguate caratteristiche morfologico-strutturali. La ricerca è focalizzata in particolare alla produzione di membrane planari ad elevata prestazione di spessori inferiore a 2 mm mediante pressatura o colaggio su nastro. Per entrambi i processi, ISTEC ha effettuato un approfondito studio del comportamento in sinterizzazione del materiale, con particolare attenzione a processi di reactive sintering e all'influenza dei trattamenti termici sulle caratteristiche chimico-strutturali del materiale.

## High Temperature Ceramic Batteries (ZEBRA)

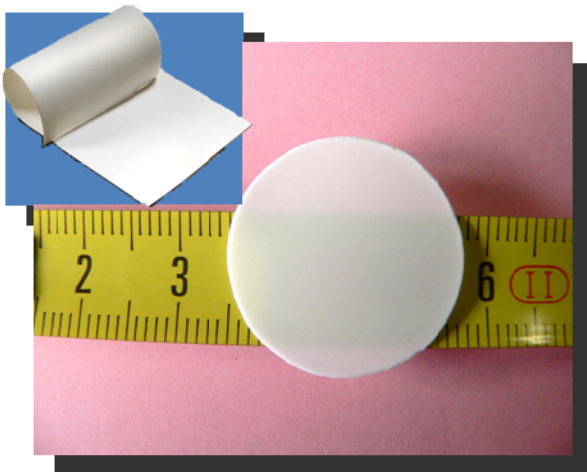
*ZEBRA batteries (Zero Emission Battery Research Activities), due to their high energy and power density, are one of the best solutions to the actual energy storage demand for stationary application and to the sustainable mobility with electric and hybrid cars.*

*These systems are based on nickel-sodium chloride cells operating at high temperatures (about 270°C-350 °C), enclosed in a thermal container and uses a ceramic tube or planar membrane of Na-β"-alumina as solid electrolyte.*

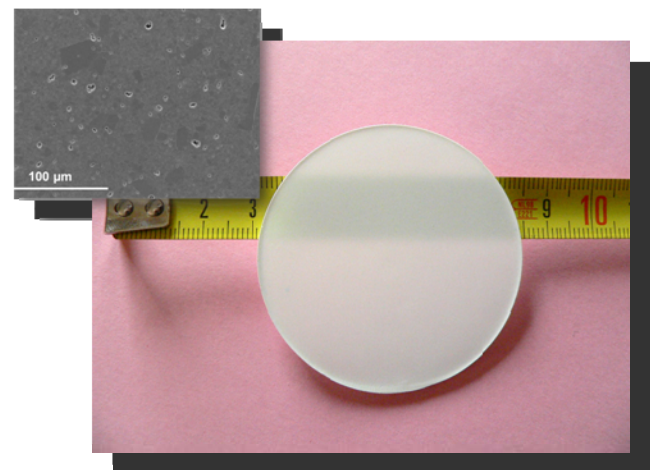
*The ceramic process needed to produce the electrolytic compartment has a key role to enhance and adapt the batteries performances to the specific requirements for stationary regime applications. Each minimal composition or process deviation in fact strongly influences the final properties of the device.*

*For this purpose ISTEC mainly deals with the ad-hoc study of the production process, from the powders synthesis to the shaping and sintering needed to obtain β"-alumina membranes either in tubular and planar configuration with suitable morphological-structural characteristics. The research is deeply focused on the production of high efficient planar membranes with thicknesses < 2 mm exploiting the die pressing or the tape casting processes.*

*ISTEC is also focused on careful analysis of the materials sintering behavior, on the study of reactive sintering processes and how the thermal treatments could influence the chemical-structural properties of the material.*



Na-β''-alumina membrane (ϕ=22 mm) produced by tape casting.



Na-β''-alumina membrane (ϕ=52 mm) produced by die pressing and its SEM micrograph.

### Manin Publications and Congress Contributions

- E. Mercadelli, C. Capiani, A. Sanson "Production of electrolytic membranes for high temperature batteries" Report N°07/2013, 2013.
- E. Mercadelli, C. Capiani, A. Sanson, "Production of electrolyte membranes for ZEBRA batteries", 10th International Symposium on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications, 2012 Dresden, Germany.

### Relevant project

Accordo di programma quadro MISE-CNR (2008-) «Sistemi elettrochimici per l'accumulo di energia»

## Membrane per la separazione di gas ad alta temperatura

Responsabile scientifico: **Alessandra Sanson** [alessandra.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessandra.sanson@istec.cnr.it)  
 Collaboratori : Elisa Mercadelli, Nicola Sangiorgi, Angela Gondolini, Paola Pinasco

Le membrane di separazione sono dispositivi elettrochimici che permettono la separazione di specifici componenti provenienti da una corrente gassosa ad alte temperature (500-800°C). Sulla base dei materiali considerati questi sistemi possono essere classificati come:

Membrane per la separazione di ossigeno;  
 Membrane per la separazione di idrogeno.

Questi dispositivi sono sostanzialmente dei doppi strati ceramici o ceramico-metallici costituiti da un elemento supportante ed uno attivo. Le membrane di separazione vengono prodotte in ISTEC partendo da polveri commerciali o di sintesi mediante la tecnica del colaggio su nastro e/o serigrafia. Con questo metodo sono stati prodotti substrati ed elementi attivi di diverse composizioni :

- $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  (LSCF);
- $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3 / \text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$  (LSM-GDC);
- $\text{NiO} / \text{Ba}(\text{Ce}, \text{Y}, \text{Zr})\text{O}_3, \text{Ba}(\text{YCe})\text{O}_3$ .

Un attento studio della composizione delle sospensioni e dei trattamenti termici necessari al consolidamento ha permesso la realizzazione di doppi strati ceramici di diametro fino a 5 cm con microstruttura adeguata all'applicazione (vedi Figura). Poiché i dispositivi prodotti vengono comunemente sinterizzati in "co-firing", ampia attenzione viene posta al comportamento in sinterizzazione dei vari strati che, anche se sottoposti allo stesso trattamento termico, devono presentare una microstruttura porosa del comparto supportante e un'elevata densità dello strato attivo.

## High temperature gas separation membranes

*Gas separation membranes are electrochemical devices that allows the separation of specific components contained in gas streams at high temperatures (500-800°C). These systems can be classified on the bases of the materials used as :*

*Oxygen separation membranes;*

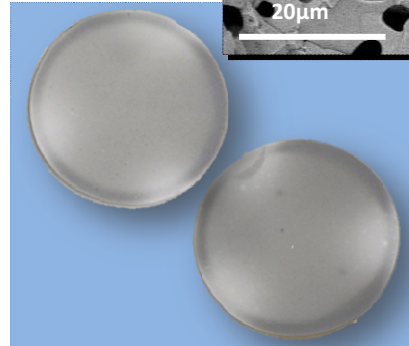
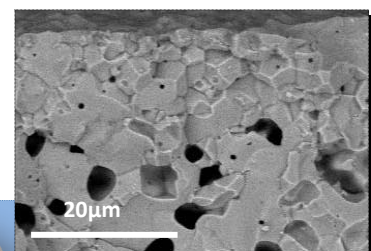
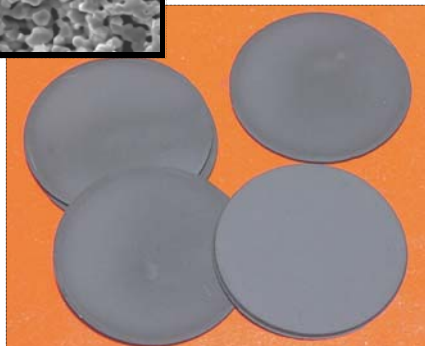
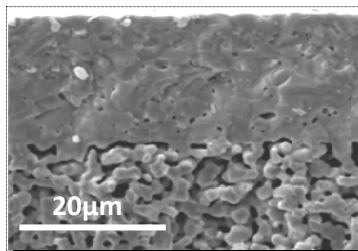
*Hydrogen separation membranes.*

*These devices are ceramics or ceramic-metallic bilayers constituted of a supporting element and an active layer. Separation membranes are produced at ISTEC starting from commercial or synthesized powders by tape casting or /and screen printing. Substrates and active layers for this application were developed with different compositions:*

- $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_3$  (LSCF);
- $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3 / \text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{O}_2$  (LSM-GDC);
- $\text{NiO} / \text{Ba}(\text{Ce}, \text{Y}, \text{Zr})\text{O}_3, \text{Ba}(\text{YCe})\text{O}_3$ .

*Products with diameter up to 5 cm were obtained after a careful suspension and thermal treatment optimizations needed to reach a suitable microstructure for the required application (Figure) .*

*The as-produced bilayers are generally sintered via co-firing. For this purpose a great attention is given to the sintering behavior of each layer that, even subjected to the same heat treatment, must satisfy two different requirements: a suitable porosity of the supporting element and an high density of the active layer.*



Oxygen separation (on the left) and hydrogen separation membranes (on the right) produced at ISTEC.

### Relevant projects

Tecnopolo Energia (2011-2013) Regione Emilia-Romagna (POR-FESR 2007-2013) "Programma pilota per lo sviluppo sperimentale di tecnologie ad idrogeno per i primi mercati e la de carbonizzazione".

Accordo di Programma MISE-CNR (2011-) "Tecnologie abilitanti per la ricerca di sistema elettrico: materiali e componentistica".

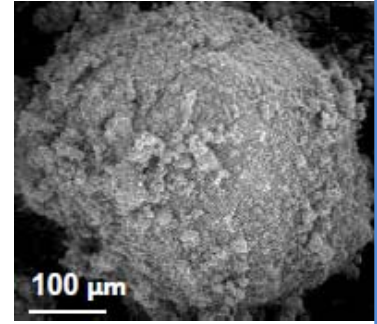
## New solid sorbents for CO<sub>2</sub>

To mitigate the impact of fossil fuels on pollution and greenhouse effect, the current technologies need to be improved for achieving limited environmental impact and high sustainability (zero emission). When CO<sub>2</sub> sorbents are used in granular or structured forms, high superficial area and well developed open porosity are prerequisites for an effective process. A typical continuous process also requires the sorbent to be mechanically resistant, regenerable and easily available. ISTECC has tested at laboratory scale differently shaped hydroxyapatites as innovative materials able to chemically fix CO<sub>2</sub> at 900-1200°C, temperatures over the activity range of conventional CaO based sorbents. This finding, along with the better performances of apatites in maintaining absorbing capacity and structural properties upon several absorbing-desorbing cycles and with the lower energy for regeneration, opens perspective for practical utilization.

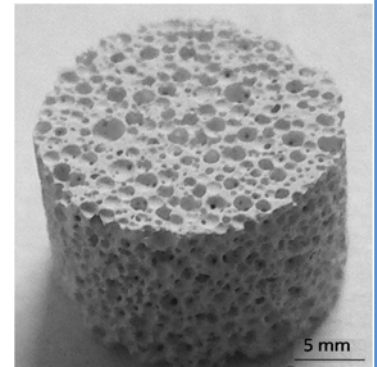
Furthermore, geopolymers, which can be regarded as the amorphous counterparts of zeolites, have been preliminarily tested as novel porous massive sorbents of CO<sub>2</sub> at low temperatures (<500°C).

### With regards to enterprises...

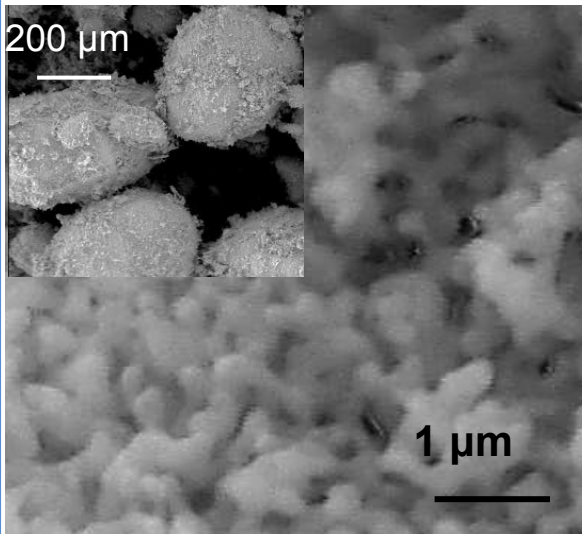
ISTEC designs, produces and characterizes at lab scale near net shape bodies with designed micro- and macro-structure, chemistry, porosity. CNR Patent MI2012A002111



Sorbent granule



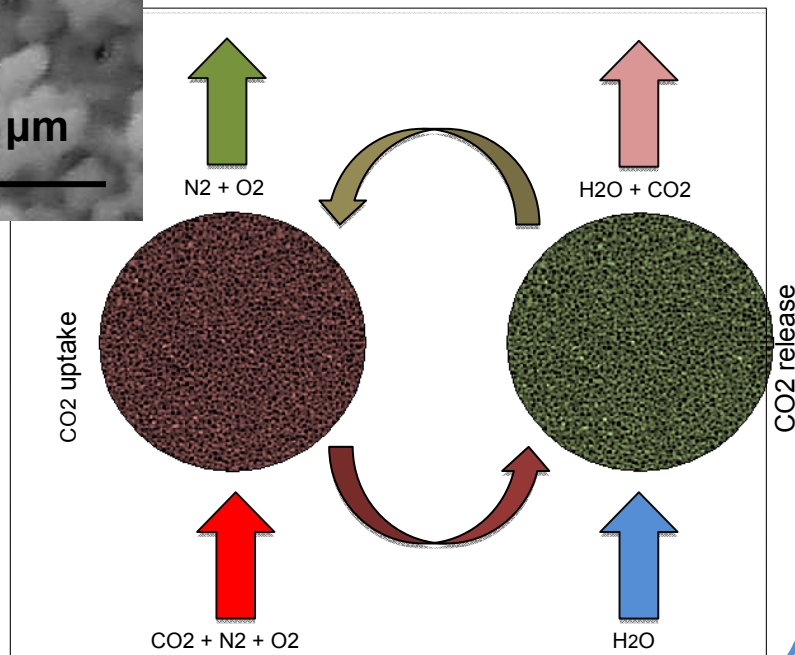
Sorbent foam



### Contact

Francesco Miccio [francesco.miccio@istec.cnr.it](mailto:francesco.miccio@istec.cnr.it)  
 Elena Landi [elena.landi@istec.cnr.it](mailto:elena.landi@istec.cnr.it)

Schematic of the CO<sub>2</sub> separation



## Materiali piezoelettrici per applicazioni elettromeccaniche

## Piezoelectric materials for electro-mechanical applications

Responsabile scientifico: **Carmen Galassi** [carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Carlo Baldisserri, Davide Gardini, Claudio Capiani, Ioana Ciuchi, Pietro Galizia

La ricerca sui materiali ceramici piezoelettrici è orientata a:

- studio dei **materiali, in particolare «lead free»**
- sviluppo dei **componenti massivi** (densi o porosi)
- produzione dei **film spessi**,

per applicazioni specifiche a bassa ed alta potenza in un ampio intervallo di frequenze.

Possono essere sviluppati (progettati e realizzati) prototipi di

- **attuatori e sensori** piezoelettrici massivi e multistrato
- **trasformatori** di tensione
- **trasduttori**.

Applicazioni: soppressione attiva di vibrazione, recupero di energia meccanica (energy harvesting), acustica subacquea, dispositivi indossabili etc..

In particolare l'unità di ricerca negli ultimi due anni ha operato nello sviluppo di materiali e componenti piezoelettrici nei sistemi zirconato/titanato di piombo (PZT) e lantanio, (PLZT), ma soprattutto senza piombo, quali bismuto sodio bario titanato (BNBT), bario stronzio titanato (BST) con metodi tradizionali e chimici, quali la sintesi per «sol gel combustion» di polveri nanometriche.

E' ripreso lo studio dei **materiali porosi**, prosegue la produzione di i) componenti sottili per colatura su nastro, ii) **piccole serie** di campioni e relativa finitura (taglio, deposizione elettrodi e polarizzazione), iv) film spessi (1-50 micron); caratterizzazione funzionale dei componenti piezoelettrici (costanti piezoelettriche, isteresi elettrica e meccanica etc.).

L'attività è integrata con altri gruppi di ricerca del CNR (IDAC-ISC) e con gruppi universitari Italiani (Fac. Chim Ind. UniBO, DEIS-UniBO, UNIVPM-AN etc.) ed europei (CSIC- Madrid, Dept Physics, Univ. "A. I.Cuza" Iasi, NIMP Bucharest) e nell'ambito di progetti Nazionali, Europei e contratti con aziende.

*The piezoelectric ceramic materials research is oriented to:*

- *study of materials, in particular, "lead free"*
- *development of massive components (dense or porous)*
- *production of thick films,*

*for specific applications at low and high power over a wide range of frequencies.*

*Prototypes can be developed (designed and manufactured):*

- *piezoelectric sensors and actuators fully dense and porous;*
- *voltage transformers*
- *transducers.*

*Applications: Active vibration suppression, recovery of mechanical energy (energy harvesting), underwater acoustics, wearable devices, etc..*

*Specifically, the research unit in the last two years has worked in the development of piezoelectric materials and components in systems lead (PZT) and lead lanthanum (PLZT) zirconate / titanates, but especially lead-free, such as bismuth sodium barium titanate (BNBT), barium strontium titanate (BST) using traditional methods and chemical, such as synthesis by "sol gel combustion" of nano powders; continues the production of i) thin components for tape casting, ii) small number of samples and on finishing (cutting, deposition, electroding and polishing), iv) thick film (1-50µm); functional characterization of piezoelectric materials and prototypes (piezoelectric constants, mechanical and electrical hysteresis etc.*

*The activity is integrated with other research groups of the CNR (IDAC-ISC) and university groups Italian (Fac Ind. Chim Uni BO, DEIS-UniBO, UNIVPM-AN etc.) and European (CSIC-Madrid, Physics Dept, univ. "AI Cuza" Iasi, ISPM Bucharest, etc) and within National and European projects and contracts with companies.*

### Main Publications

- C. S. OLARIU, L. PADURARIU, R. STANCIULESCU, C. BALDISSERI, C. GALASSI, and L. MITOSERIU, Investigation of low field dielectric properties of anisotropic porous Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> ceramics: Experiment and modeling *J. Appl. Phys.* 114, 21410 1-9 (2013)
- F. CORDERO, F. CRACIUN, F. TREQUATRINI, C. GALASSI, P.A. THOMAS, D.S. KEEBLE, and A.M. GLAZER Splitting of the transition to the antiferroelectric state in PbZr<sub>0.95</sub>Ti<sub>0.05</sub>O<sub>3</sub> into polar and antiferrodistortive components *Phys. Rev. B* 88, 094107 1-6 (2013)
- F. CRACIUN and C. GALASSI Smearing of induced ferroelectric transition and easy imprinting of different polarization configurations in relaxor ferroelectric (NA<sub>1/2</sub>BI<sub>1/2</sub>)<sub>1-x</sub>BAXTiO<sub>3</sub> *Appl. Phys. Lett* 102, 162902 1-4 (2013)
- F. CORDERO, F. TREQUATRINI, F. CRACIUN and C. GALASSI Merging of the polar and tilt instability lines near the respective morphotropic phase boundaries of PbZr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> *Phys. Rev. B* 87, 094108 1-9 (2013)
- ANDREI, A., SCARISOREANU, N.D., BIRJEGA, R., DINESCU, M., STANCIU, G., CRACIUN, F., GALASSI, C. Pulsed laser deposition of lead-free (Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>)<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> ferroelectric thin films with enhanced dielectric properties *Appl. Surf. Sci.* 278 162-165 (2013)
- F. CRACIUN, C. GALASSI, and R. BIRJEGA Electric-Field-Induced and Spontaneous Relaxor-Ferroelectric Phase Transitions in (Na<sub>1/2</sub>Bi<sub>1/2</sub>)<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> *J. Appl. Phys.* 112, 124106 (2012)
- L. PADURARIU, L. CURECHERIU, C. GALASSI, L. MITOSERIU, Tailoring non-linear dielectric properties by local field engineering in anisotropic porous ferroelectric structures, *Appl. Phys. Lett.* 100, 252905 (2012)
- M. CERNEA, C. GALASSI, B. S. VASILE, C. CAPIANI, C. BERBECARU, PINTILIE, I., PINTILIE, L. Structural, dielectric, and piezoelectric properties of BNTBT<sub>0.11</sub> ceramic derived from gel precursor *J. Eur. Ceram. Soc.* 32 (10), 2389-2397 (2012)
- M. CERNEA, G. POLI, G. V. ALDICA, C. BERBECARU, B. S. VASILE, C. GALASSI, Preparation and properties of nanocrystalline BNT-BTx piezoelectric ceramics by sol-gel and spark plasma sintering, *Current Applied Physics* 12 1100-1105 (2012)
- M. CERNEA, B. S. VASILE, C. CAPIANI, A. IONCEA, C. GALASSI Dielectric and piezoelectric behaviours of NBT-BT 0.05 processed by sol-gel method, *J. Eur. Ceram Soc.* 32 133-139 (2012).
- C. BALDISSERI, D. GARDINI, C. GALASSI Sharp Silicon/Lead Zirconate Titanate Interfaces by Electrophoretic Deposition on Bare Silicon Wafers and Post-Deposition Sintering *Sensors & Actuators: A. Physical* 174, 123-132 (2012)

### Relevant Projects

- Progetto Bandiera RITMARE Monitoraggio a bordo dello stato delle strutture e del loro livello di degrado
- Cluster Intelligent Factory Progetto Sustainable Manufacturing Ambito Intelligent Factory OR4. Human Centred Manufacturing
- FP7-NMP-2011-CSA-5 Coordination and support actions (supporting) Piezoinstitute AISBL PIEZOINSTITUTE (PI)

## Materiali e compositi multiferroici

## Multiferroic materials and composites

Responsabile scientifico: **Carmen Galassi** [carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)

Collaboratori: Carlo Baldisserri, Davide Gardini, Claudio Capiani, Pietro Galizia, Ioana Ciuchi

Fra i materiali multifunzionali che combinano diverse proprietà nella stessa struttura i materiali multiferroici sono di notevole e crescente interesse.

Sono materiali mono- o bi-fasici in cui la magnetizzazione può essere indotta da un campo elettrico e una polarizzazione elettrica può essere indotta da un campo magnetico. Questi materiali possono essere applicati in sensori magneto-elettrici per radioelettronica, optoelettronica, elettronica a microonde e trasduttori e sono attualmente una tecnologia di frontiera per la miniaturizzazione di dispositivi elettromagnetici.

La nostra attività è attualmente focalizzata ai processi per lo sviluppo dei nuovi materiali e soprattutto alla produzione di compositi attraverso la combinazione di un materiale magnetico con un materiale dielettrico o ferroelettrico. Vengono quindi ottimizzati i parametri di processo per la produzione dei singoli materiali, in particolare vengono prodotti materiali magnetici quali ferriti di Co, Ni, Ba etc., che vengono poi accoppiati al materiale dielettrico/ferroelettrico con diverse architetture (in forma di materiali massivi o film spessi).

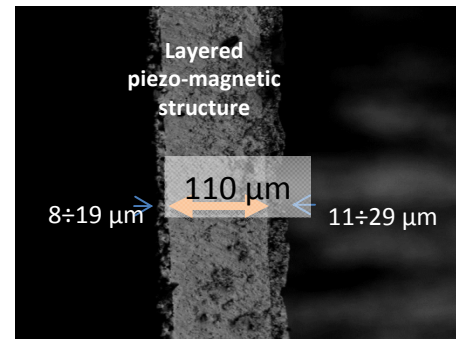
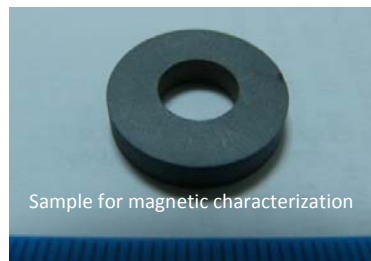
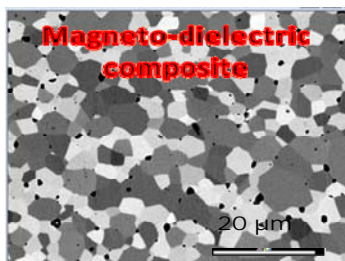
L'attività viene svolta in stretta collaborazione con gruppi di ricerca esperti nello sviluppo di dispositivi elettromagnetici (Univ. Iasi, Univ. Vilnius, Deis- Uni BO). Compositi particolati o a strati sono stati sviluppati nell'ambito di studi di base o ricerca applicata nell'ambito di contratti con aziende.

*Materials that combine ferroelectric and magnetic properties are triggering increasing scientific and technological interest for application in novel multifunctional Devices.*

*They are mono- or bi-phasic materials in which the magnetization can be induced by an electric field and electric polarization can be induced by a magnetic field. These materials can be applied in a magneto-electric sensors for radio electronics, optoelectronics, microwave electronics and transducers and are currently a frontier technology for miniaturization of electromagnetic devices.*

*Our activity is currently focused on processes for the development of new materials and especially the production of composites by combining a magnetic material with a dielectric or ferroelectric material. Therefore the process parameters for the production of individual materials are optimized, particularly magnetic materials are produced such as Co, Ni, Ba, -ferrite, etc., which are then coupled to the ferroelectric dielectric material with different architectures (bulk materials or thick film).*

*The activity is carried out in close collaboration with research teams in the development of electromagnetic devices (Univ. Iasi, Univ. Vilnius, Deis- Uni BO). Particulate ceramic composites or layered materials have been developed both in basic studies or applied research in the frame of contracts with companies.*



### Main Publications and Congress Contributions

- M. ALDRIGO, A. COSTANZO, D. MASOTTI, C. BALDISSERRI, I. DUMITRU, AND C. GALASSI Numerical and experimental characterization of a button-shaped miniaturized UHF antenna on magneto-dielectric substrate *Int J. of Microwave and Wireless Technologies* 5(3), 231–239 (2013)
- M. CERNEA, S.-G. SANDU, C. GALASSI, R. RADU, V. KUNCSEK, Magnetic properties of  $Ba_xSr_{1-x}Fe_{12}O_{19}$  ( $x=0.05-0.35$ ) ferrites prepared by different methods *Journal of Alloys and Compounds* 561 121–128 (2013) .
- C. E. CIOMAGA, A. M. NEAGU, M. V. POP, M. AIRIMIOAEI, S. TASCU, G. SCHILEO, C. GALASSI, and L. MITOSERIU Ferroelectric and dielectric properties of ferrite-ferroelectric ceramic composites *J. Appl. Phys.* 1137 074103 1-8 (2013)
- C. E. CIOMAGA, C. S. OLARIU, L. PADURARIU, A.V. SANDU, C. GALASSI AND L. MITOSERIU, Low field permittivity of ferroelectric-ferrite ceramic composites. Experiment and Modeling *Journal of Applied Physics*, 112, 9, 094103\_1-7 (2012)
- M. ALDRIGO, A. COSTANZO, D. MASOTTI, C. GALASSI Exploitation of a novel magneto-dielectric substrate for miniaturization of wearable UHF antennas, *Materials Letters* 87 127–130 (2012)
- C. CIOMAGA, M. AIRIMIOAEI; V. NICA; L. HRIB; O. CALTUN; A. IORDAN; C. GALASSI; L. MITOSERIU; M. PALAMARU Preparation and magnetoelectric properties of  $NiFe_2O_4$ -PZT composites obtained in-situ by gel- combustion method *J. Eur. Ceram. Soc.* 32, 3325–3337 (2012).
- C. E. CIOMAGA, C. S. OLARIU, L. PADURARIU, S. TASCU, R. FRUNZA, C. GALASSI and L. MITOSERIU Applicability of Finite-Element Modeling Method and Effective Medium Approximation to ferroelectric-ferrite ceramic composites in microwave range *Proceedings of 48th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials with the workshop on CERAMIC MICROSYSTEMS*, pp. 157-162, 2012

### Relevant Projects

- ANTENNA "COMPOSITI PIEZO-MAGNETICI INGEGNERIZZATI PER ANTENNE MINIATURIZZATE INDOSSABILI" PNRMa2010.94 (2012-2014)
- COST Action MP0904 2010-2014 Single- and multiphase ferroics and multiferroics with restricted geometries SIMUFER
- Italia Romania Bilateral Project: Studio e sviluppo di ceramiche perovskitiche multiferroiche monofasiche e film sottili per dispositivi multi-funzionali / Study and Development of Single-Phase Multiferroic Perovskite Ceramic and Thin Films for Multifunctional Devices, 2014



## Multifunctional Ceramic Materials

Multifunctional materials are advanced materials which accomplish multiple performance objectives in a single material system. They exhibit a wide variety of physical properties like piezo- and ferro-electricity, colossal magnetoresistance, multiferroicity and giant capacity. These materials play a crucial role in the next-generation of intelligent devices and sensors, smart homes, autonomous devices and robotics.

The activity of our group is focused on process, study and development of new ceramic materials with multifunctional properties with high quality, in the different compositions, forms or/and integrated together in complex heterostructures. Our materials cover a large scale of applications being used like sensors, actuators and transducers (Fig. 1b) in hydrophone (Fig. 1c), electric and magnetic memories or in miniaturized antenna substrate (Fig. 1d). Our recent performance was to obtain miniaturized magneto-piezoelectric structures like bar-shaped piezo-ceramic rods (Fig. 2 a.) or plates (Fig. 2b. and c.). We also perform advanced material characterizations to analyze and get insight into different physical properties of innovative materials (dielectric, piezoelectric and ferroelectric characterization).

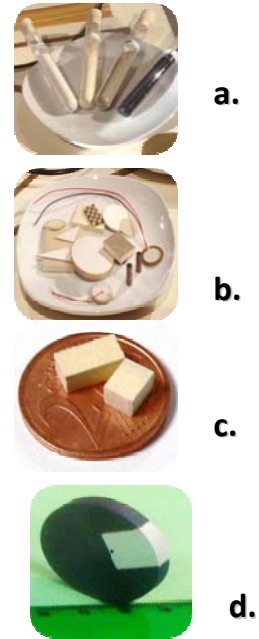


Fig. 1 Powders, materials and prototypes obtained in our Laboratories

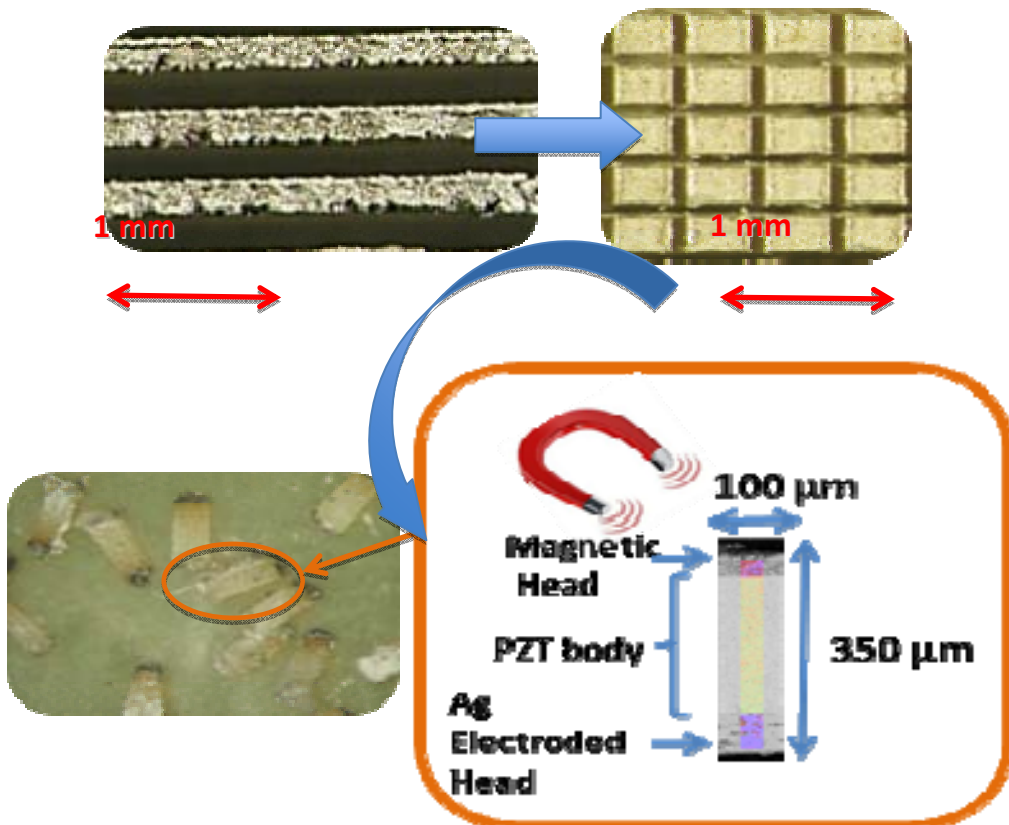
### With regards to enterprises...

We developed these materials in collaboration with CNR-ISC, University Departments, within contracts with Companies or national (Project ANTENNA PNR-M 2010) or Eu Projects (Cost Action MP 904 SIMUFER)

We offer: materials development, prototyping, and integration of bulk materials and thick films

**Contact**  
 Carmen Galassi  
[carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)

Fig. 2 Piezo-magnetic structures



## Piezoelectric Ceramic Materials for Energy Harvesting

The process of harnessing and converting ambient energy sources (vibrations, mechanical pressure) into usable electrical energy is called energy harvesting. Piezoelectric materials are used to harvest this energy because they have the unique ability of converting mechanical strain energy source into electrical energy. In last years different system and technology to recuperate energy from vibration have been developed: piezoelectric materials installed in shoes in order to recuperate energy form walk, special flooring tiles absorb vibration and generate electricity by movement on them have been developed and installed in busy places.

We have an excellent experience in preparation of a large variety of piezoelectric materials, mainly PZT ceramic composites with different structures (produced by pressing, tape casting, screen printing, electrophoretic deposition etc.) an properties that enable to achieve different applications in the micro or macro scale. Piezoelectric bimorph cantilever is and highly performing structure for energy harvesting. Different types of cantilevers made of thin layers of PZT (Fig.1), "Piezo Tile" and a system to recuperate energy from movement (Fig. 2) have been developed in our laboratories.

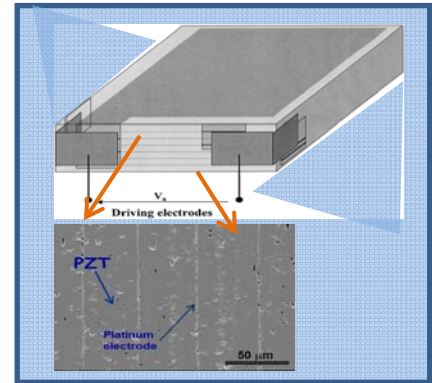


Fig.1 Multiayer PZT bender produced at ISTEC

### With regards to enterprises...

We developed these materials and systems in collaboration with CNR, University Departments, within contracts with Companies or national Projects .

We offer: materials development, prototyping and piezoelectric characterization and integration of bulk materials and thick films.

### Contact

*Carmen Galassi*

[carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)

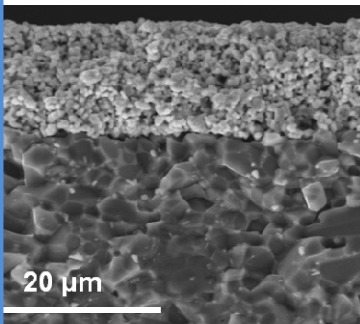
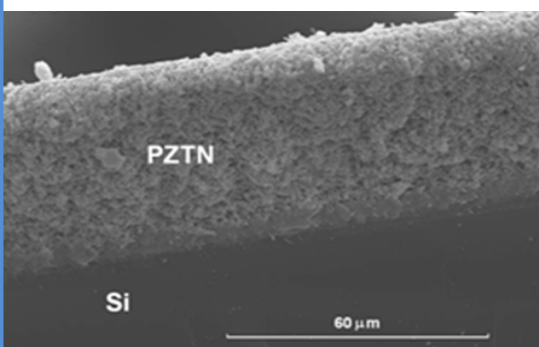


Fig. 3 PZT film microstructure



Fig. 2 Piezoelectric foot board shown at the "Festival della Scienza", Genova 2009



PZT Film by Electrophoretic deposition on silicon

**BIOMATERIALI per la Nanomedicina e la Rigenerazione dei Tessuti**

**BIOMATERIALS for Nanomedicine and Regenerative Medicine**

Cranial reconstruction

Soft organ regeneration

Drug Delivery Systems

Osteochondral regeneration

Tendon regeneration

Long bone replacement

## Impianti porosi per rigenerazione ossea

## Porous implants for bone regeneration

Responsabile scientifico: **Anna Tampieri** [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)

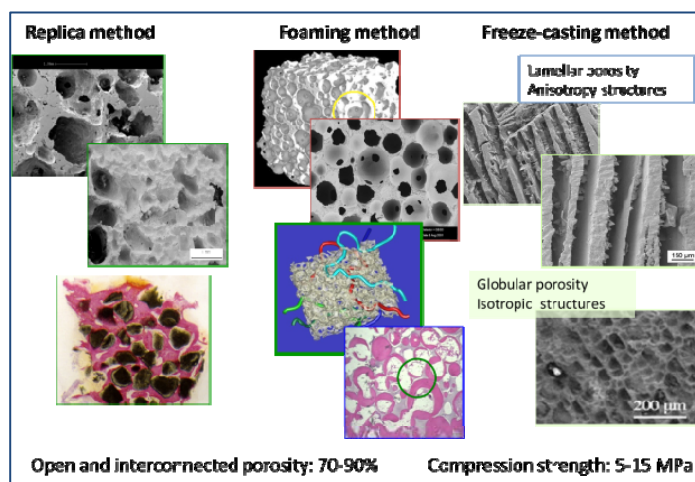
Collaboratori: Simone Sprio, Monica Sandri, Claudio Capiani, Andrea Ruffini, Massimiliano Dapporto

La rigenerazione di difetti ossei critici richiede l'impianto di *scaffold* porosi in grado di scambiare segnali chimici, morfologici e meccanici con le cellule così da attivare la formazione di nuovo osso e la colonizzazione dell'intero *scaffold*. La dimensione e la morfologia dei pori deve essere progettata per consentire la penetrazione dell'osso e la formazione di una rete vascolare in grado di sostenere il metabolismo osseo. La resistenza meccanica degli *scaffolds* deve essere sufficiente a mantenere una certa stabilità fisica subito dopo l'impianto. Varie tecniche di formatura come la *replica*, il *foaming*, lo *spin casting*, *slip casting*, *freeze casting*, vengono utilizzate per realizzare sospensioni stabili di polveri bioattive (tra cui idrossiapatite, tricalcio fosfato, titania e loro compositi) che vengono poi consolidate in dispositivi macroporosi 3D. In particolare il processo di *foaming* consente di ottenere *scaffolds* con porosità molto elevate e buone proprietà meccaniche; processi di *freeze casting* consentono di ottenere impianti con porosità orientata e proprietà meccaniche anisotrope, così come avviene nelle ossa lunghe. La porosità orientata sostiene anche lo sviluppo di una rete vascolare che favorisce la formazione e la maturazione di nuovo osso in tutto lo *scaffold*. Compositi bioattivi che associano calcio-fosfati e fasi bioattive di rinforzo come la titania sono sviluppate e ottimizzate per produrre *scaffold* ossei con elevato carattere osteogenico e proprietà meccaniche superiori che possono essere utilizzati per la rigenerazione di regioni ossee portanti carico. Processi di sintering sono messi a punto e ottimizzati per ottenere il massimo grado di consolidamento e massimizzare le proprietà meccaniche.

Polimeri naturali e bio-erodibili sono utilizzati in miscela con la fase ceramica per migliorare la resistenza meccanica e ottimizzare le proprietà elastiche verso valori tipici dell'osso. La presenza di polimeri fornisce una maggiore stabilità fisica allo *scaffold* nelle prime fasi dopo l'impianto e favorisce inoltre l'adesione cellulare e la migrazione.

*The regeneration of critical-size bone defects requires the implantation of porous scaffolds exchanging suitable chemical, morphological and mechanical signals with cells so as to activate new bone formation and colonization of the whole scaffold. Pore size and morphology must be designed to achieve cell penetration and the establishment of a suitable vascular network to sustain the bone metabolism. The mechanical strength of the scaffolds should be sufficient for early physical stabilization soon after implantation. Several forming techniques, such as replica, foaming, spin casting, slip casting, freeze casting, are applied to establish stable suspensions of bioactive powders (e.g.: hydroxyapatite, tricalcium phosphate, titania and their composites) to be consolidated into 3D macroporous devices. In particular, by foaming process scaffolds with very high porosity extent and good mechanical strength can be obtained; freeze casting processes allow to obtain implants with oriented porosity and anisotropic mechanical properties, similarly to what occurs in long bones. The oriented porosity also supports the development of a vascular network that in turn favours the bone formation and maturation in the whole scaffold. Bioactive composites associating calcium phosphates and reinforcing phases such as titania are developed and optimized to produce bone scaffolds with high osteogenic character and increased mechanical strength that can be used for regeneration of load-bearing bone parts. Sintering processes are settled and optimized to achieve the highest extent of consolidation and to maximize the mechanical strength.*

*Natural and bio-erodible polymers are also used in blends with the ceramic phase to enhance fracture strength and tailor elastic properties towards values typical of bones. The presence of polymers provide increased physical stability to the scaffold in the early stage after implantation and favour cell adhesion and migration.*



### Main Publications

- Cunha C, Sprio S, Panseri S, Dapporto M, Marcacci M, Tampieri A. (2013) High biocompatibility and improved osteogenic potential of novel Ca-P/titania composite scaffolds designed for regeneration of load-bearing segmental bone defects. *J Biomed Mater Res: Part A*. 101A(6), 1612
- Sprio S, Guicciardi S, Dapporto M, Melandri C, Tampieri A. (2013) Synthesis and mechanical behavior of beta-tricalcium phosphate/titania composites addressed to regeneration of long bone segments. *J Mech Behav Biomed Mater*, 17: 1-10.
- Sprio S, Ruffini A, Valentini F, D'Alessandro T, Sandri M, Panseri S, Tampieri A. (2011) Biomimesis and biomorphic transformations: new concepts applied to bone regeneration. *J Biotechnol* 156(4): 347-355.

### Relevant Projects

**AUTOBONE:** NMP3-CT-2003-505711 (2004-2009) *Production unit for the decentralised engineering of autologous cell-based osteoinductive bone substitutes*

**Bioprotesi:** *Materiali innovativi per lo sviluppo di bio-protesi articolari* (RBIP068JL9 (2007-2012))

## Nano-apatiti magnetiche per il trasporto di farmaci e l'ingegneria dei tessuti

## Magnetic nano-apatites for drug delivery systems and tissue engineering

Responsabile scientifico: **Anna Tampieri** [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Monica Sandri, Michele Iafisco, Silvia Panseri, Simone Sprio, Alessio Adamiano, Elisa Savini

Nanofasi di idrossiapatite bioattiva che esibiscono intrinseco superparamagnetismo, progettate per agire come nuovi sistemi di rilascio in grado di rispondere agli stimoli o favorire l'homing delle cellule e la colonizzazione di scaffold ossei e osteocondrali per migliorare i processi di rigenerazione tissutale.

Il recente sviluppo di nanoparticelle di idrossiapatite superparamagnetica (Fe-HA) è stato ottenuto mediante sostituzione controllata di ioni calcio con ioni  $Fe^{2+/3+}$ , con specifico rapporto Fe/Ca e  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ . Grazie alla bioattività, biorisorbibilità e safety di questo nuovo biomateriale, così come la capacità di essere attivato mediante segnale esterno, sono stati ottenuti bio-dispositivi di nuova generazione con proprietà superparamagnetiche.

Il superparamagnetismo della Fe-HA è associato con proprietà di ipertermia che possono trovare applicazione in terapie antitumorali di nuova generazione.

Inoltre, nanoparticelle di Fe-HA e/o Fe-HA/biopolimero (quali ad esempio alginato, gelatina, chitosano, PNIPAM) microsfele composite sviluppate grazie a processi di *double emulsion* possono essere legate a molecole bioattive specifiche mediante ligandi termo-labili e rilasciate mediante ipertermia indotta da remoto, così da funzionare come nuovi sistemi di rilascio intelligenti e in grado di rispondere specificamente a stimoli esterni. La presenza di fasi polimeriche consente un controllo fine delle cinetiche di rilascio mediante processi di reticolazione ad opera di vari agenti reticolanti in varie concentrazioni.

Inoltre particelle a base di Fe-HA possono essere funzionalizzate e internalizzate dalle cellule che possono essere mosse da segnale esterno, in siti terapeutici bersaglio o per ottenere migliori risultati in ingegneria tissutale così da favorire la rigenerazione di estese regioni di osso o regione osteocondrale. Il rilascio controllato consente di progettare e applicare terapie farmacologiche locali, evitando l'approccio sistemico e gli effetti tossici correlati.

I nuovi dispositivi basati su Fe-HA sono soggetto di un brevetto internazionale (WO2012014172).

*Bioactive hydroxyapatite nano-phases endowed with intrinsic superparamagnetism, designed to act as new stimuli-responsive drug delivery systems or to enhance cell homing and colonization of bone and osteochondral scaffolds thus enhancing tissue regeneration.*

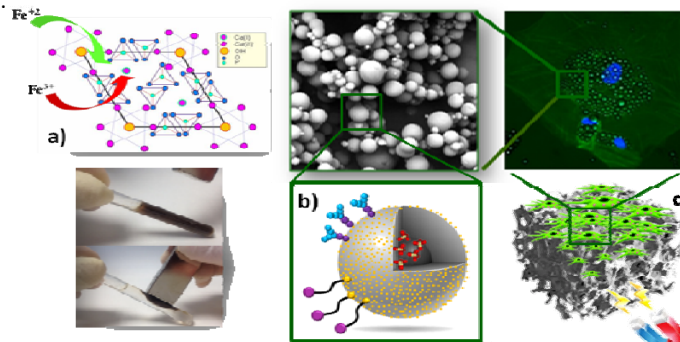
*The recent development of new intrinsically superparamagnetic hydroxyapatite nanoparticles (Fe-HA) was achieved through controlled substitution of  $Ca^{2+}$  ions with  $Fe^{2+/3+}$  ions, with specific Fe/Ca and  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  ratios. Due to the bioactivity, bioresorbability and safety of this new biomaterial, as well as its ability to be activated by external signal, new generation bio-devices endowed with intrinsic superparamagnetic properties has been obtained.*

*The super-paramagnetism of Fe-HA is accompanied by effective hyperthermia properties that can be exploited towards new generation anti-cancer therapies.*

*Besides, Fe-HA nanoparticles and/or Fe-HA/biopolymer (like alginate, gelatin, chitosan, PNIPAM) composite microbeads developed by double emulsion processes can be linked to relevant bioactive molecules through thermo-labile ligands and released upon remotely induced hyperthermia, thus functioning as new smart, stimuli-responsive drug delivery systems. The presence of the polymeric phase allow to deeply control the release kinetic through specific chemical cross-linking processes, performed by varying the kind and the percentage of cross linking agents.*

*Moreover, Fe-HA based particles can be functionalized and internalized by cells that can be moved, upon external signal, in targeted therapeutic sites or to provide enhanced in vivo tissue engineering thus aiding the regeneration of extended bone/osteochondral parts. The controlled release allows to perform local pharmaceutical therapies, avoiding systemic therapies and their related undesired toxicity effects.*

*The new devices based on Fe-HA are subject of an international patent (WO2012014172).*



### Main Publications

- Iafisco M., Sandri M., Panseri S., Delgado-Lopez J.M., Gomez-Morales J., Tampieri A. *Magnetic bioactive and biodegradable hollow Fe-doped hydroxyapatite coated poly(L-lactic) acid microspheres*. **Chemistry of Materials**. 25(13), (2013), 2610-2617
- Panseri S., Russo A., Sartori M., Giavaresi G., Sandri M, Fini M., Maltarello M.C., Shelyakova T., Ortolani A., Visani A., Dediu A., Tampieri A., Marcacci M. *Modifying bone scaffold architecture in vivo with permanent magnets to facilitate fixation of magnetic scaffolds*. **Bone** 56, (2013) 432-439
- Gloria A, Russo T, D'Amora, U, Zepetelli S, D'Alessandro T, Sandri M, Banobre-Lopez M, Pineiro-Redondo Y, Uhlarz, M, Tampieri A, Rivas J, Herrmannsdorfer T, Dediu VA, Ambrosio L, De Santis R. *Magnetic poly(1-caprolactone)/iron-doped hydroxyapatite nanocomposite substrates for advanced bone tissue engineering*. **J. R. Soc. Interface** (2013) 10 (80), 20120833

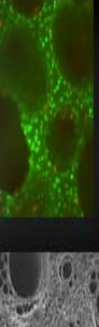
### Relevant Projects



- "miRnano" Flagship Project BANDIERA (PNR-CNR 2011-2013)



- PNR-CNR Aging Program 2012-2014.



## Cementi ossei e apatiti biomimetiche

## Bone cements and biomimetic apatites

Responsabile scientifico: **Simone Sprio** [simone.sprio@istec.cnr.it](mailto:simone.sprio@istec.cnr.it)

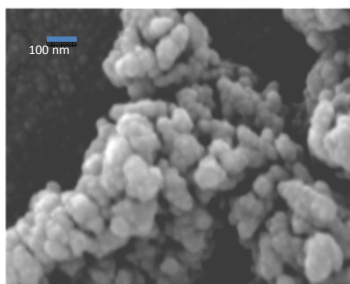
Collaboratori: Anna Tampieri, Michele Iafisco, Monica Sandri, Andrea Ruffini, Massimiliano Dapporto, Monica Montesi

La rigenerazione di tessuti connettivi duri quali ossa e denti è attivata dalla presenza di specifici segnali chimici e morfologici che inducono la formazione e organizzazione di nuovo osso. A questo proposito fasi di idrossiapatite che presentano composizione simile all'osso (cioè sostituzioni ioniche multiple come  $Mg^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $SiO_4^{4-}$ ,  $Sr^{2+}$ ), struttura nanometrica e basso ordine cristallino possono essere sintetizzate con metodi ad umido a temperatura ambiente. Queste nuove fasi mimano la parte inorganica dell'osso e posseggono buone proprietà osteogeniche e di bio-riassorbimento in vivo, pertanto sono molto promettenti come riempitivi ossei rigenerativi in forma di granulato o di pasta iniettabile.

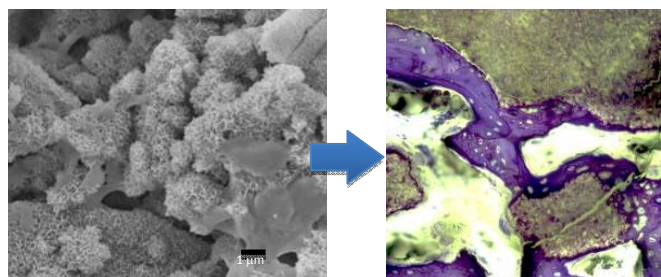
Sostituzioni ioniche possono essere ottenute anche su fosfati di calcio reattivi e metastabili come il tricalcio fosfato che, a contatto con acqua, si trasformano spontaneamente in particelle allungate di idrossiapatite biomimetica e nanostrutturata. Questo processo può essere sfruttato per sviluppare nuovi cementi ossei iniettabili bio-riassorbibili che possono essere disegnati per uso in procedure di vertebroplastica in caso di corpi vertebrali indeboliti o danneggiati da traumi o osteoporosi. I nuovi cementi possiedono elevata abilità osteogenica, porosità aperta e capacità di essere completamente bio-riassorbiti, grazie anche alla presenza di bio-polimeri che promuovono l'iniettabilità, l'indurimento e la penetrazione del nuovo osso. In particolare la parziale sostituzione di calcio con stronzio può fornire uno specifico effetto che in vivo promuove la formazione di osso e limita il suo riassorbimento, così da riequilibrare il fisiologico turnover dell'osso. I nuovi cementi apatitici sono promettenti per rimpiazzare l'uso corrente di dispositivi a base acrilica che, nonostante la loro capacità di fornire una precoce stabilizzazione meccanica della vertebra, sono caratterizzati da vari effetti avversi che ne limitano severamente l'uso in pazienti giovani e fisicamente attivi.

*The regeneration of hard connective tissues (e.g. bone, teeth) is activated by the presence of specific chemical and morphological signals inducing new bone formation and organization. In this respect hydroxyapatite phases presenting bone-like composition (i.e. multiple ionic substitutions such as  $Mg^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $SiO_4^{4-}$ ,  $Sr^{2+}$ ), nanosized microstructure and low crystal order can be synthesized by wet methods at room temperature. These new phases closely mimic the inorganic part of bone and exhibit good ability of osteogenesis and bio-resorption in vivo. These biomaterials are very suitable to be used as regenerative bone fillers in the form of granulate or as injectable pastes.*

*Ionic substitutions can be applied also on reactive and metastable calcium phosphates such as tricalcium phosphate that in contact with water spontaneously transform into biomimetic, nanosized hydroxyapatite particles with elongated shape. This process is exploited to develop new injectable, bio-resorbable bone cements that can be designed for use in vertebroplasty procedures in the case of vertebral bodies weakened or diseased by traumas or osteoporosis. In these cements self-hardening occurs by physical entanglement of the elongated hydroxyapatite particles. These new cements possess high osteogenic ability, open porosity and ability to be completely resorbed, also due to the presence of bio-polymers promoting injectability, hardening and new bone penetration. In particular, the partial ionic substitution of calcium with strontium can provide a specific effect in vivo that promote the bone formation and limit the bone resorption, thus restoring the physiological bone turnover. The new apatitic cements intend to replace the current use of acrylic devices that, in spite of their ability to provide early mechanical stabilization of the vertebra, are characterized by several drawbacks that severely limit their use in young and physically-active patients.*



Morphology of biomimetic HA



Microstructure of Sr-substituted bone cement (left) and integration with bone (right)

### Main Publications

- Iafisco M, Ruffini A, Adamiano A, Sprio S, Tampieri A. Biomimetic magnesium-carbonate-apatite nanocrystals endowed with strontium ions as anti-osteoporotic trigger. (2013) *Mater Sci Eng C*. 35(1): 212-219.

### Relevant Projects

- AUTOBONE:** NMP3-CT-2003-505711 (2004-2009) *Production unit for the decentralised engineering of autologous cell-based osteoinductive bone substitutes*
- OPHIS:** NMP3-SL-2010-SMALL-3-246373 (2010-2014) *Composite phenotypic triggers for bone and cartilage repair*
- SMILEY:** NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) *Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes*

## Nanocompositi ibridi per la rigenerazione di regioni anatomiche multifunzionali

## Hybrid nano-composites for the regeneration of multi-functional anatomical regions

Responsabile scientifico: **Monica Sandri** [monica.sandri@istec.cnr.it](mailto:monica.sandri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Anna Tampieri, Michele Iafisco, Silvia Panseri, Simone Sprio, Monica Montesi

*Scaffolds* 3D biomimetici e biorisorbibili per la completa rigenerazione di regioni multi-funzionali come i siti osteocondrali e parodontali sono sviluppati grazie ad un processo di sintesi biologicamente ispirato che mima il processo di neo-ossificazione, così da conferire ai nuovi dispositivi un'elevata abilità rigenerativa. Gli scaffold sono basati su fibre di collagene Tipo I che assemblano, organizzano e mineralizzano spontaneamente con nano-nuclei di idrossiapatite biomimetica a seguito di variazione di pH a temperatura corporea. Il grado di mineralizzazione può variare da zero (come la cartilagine) a 70% (come l'osso), ovvero *scaffolds* 3D con gradiente di morfologia e composizione possono essere sviluppati per mimare tessuti multifunzionali di regioni osteocondrali e parodontali (osso sub-condrale, cartilagine mineralizzata, cartilagine ialina, smalto, cemento, etc.), così da indirizzare il corretto fenotipo cellulare (ovvero osteoblasti, condrociti, dentinoblasti, etc.). In aggiunta fibre di collagene autoassemblante possono essere mineralizzate con nanocristalli di idrossiapatite sostituita con ioni  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  così che i compositi ibridi finali risultano dotati di proprietà superparamagnetiche. Miscele di polimeri auto-assemblanti (collagene, gelatina, cellulosa, chitosano, alginato, etc.) sono in fase di studio per ottenere dispositivi con migliore stabilità chimica, proprietà meccaniche e per modificare la dimensione e la distribuzione dei pori.

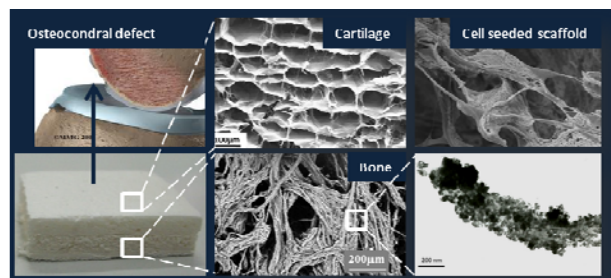
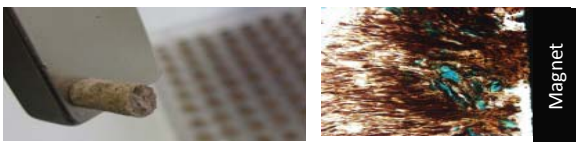
L'orientazione delle fibre di collagene, la dimensione e l'interconnessione dei pori sono regolate mediante *freeze-drying* e reticolazione chimica, per promuovere una rapida colonizzazione cellulare, formazione di nuovo osso e riassorbimento controllato in vivo, adattandosi alla cinetica di rigenerazione ossea.

Collaboriamo con vari gruppi accademici internazionali in progetti EU FP7 (OPHIS, SMILEY). La stretta collaborazione con Finceramica S.p.A., Faenza, e con gli Istituti Ortopedici Rizzoli, Bologna, consente di mettere a fuoco i bisogni clinici rilevanti per la progettazione e lo sviluppo di *scaffold* innovativi per rigenerazione ossea e osteocondrale. Su questa base sono stati sviluppati diversi brevetti internazionali che hanno dato origine a prodotti commerciali tra cui, in particolare, lo scaffold osteocondrale (WO2006092718) è ora oggetto di sperimentazione multi-centrica in Europa.

*3D hybrid biomimetic and bio-resorbable scaffolds for the complete regeneration of multi-functional regions like osteochondral and periodontal sites are developed by a well-established bio-inspired synthesis mimicking the biologic neo-ossification process, thus providing the new devices with very high regenerative ability. The scaffolds are based on Type I collagen fibers that assemble, organize and mineralize with biomimetic, ion-substituted hydroxyapatite nano-nuclei upon pH variation at body temperature. The extent of mineralization can be varied from zero (i.e. cartilage-like constructs) to 70 wt% (i.e. bone-like), therefore 3D scaffolds with graded composition and morphology can be developed to mimic the multifunctional tissues of osteochondral and periodontal regions (sub-chondral bone, mineralized cartilage, hyaline cartilage, dentine, enamel, cement, etc), thus triggering relevant cell phenotypes (i.e. osteoblasts, chondrocytes, dentinoblasts, etc). In addition self assembling collagen fibers can be mineralized by nano-crystals of hydroxyapatite doped with  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  ions so that the final hybrid composites are endowed with super-paramagnetic properties. Polymeric blends (collagen, gelatine, cellulose, chitosan, alginate, etc.) are investigated to increase the chemical stability, mechanical performances and to modify the pore size and distribution.*

*The orientation of collagen fibres, pore size and interconnection is tailored by controlled freeze-drying and chemical cross-linking, to promote fast cell colonization, formation of new bone and controlled bio-degradation in vivo, in compliance with the kinetics of bone regeneration.*

*On this topic, we collaborate with academic groups in the framework of EU-funded. The close collaboration with Finceramica S.p.A., Faenza and Rizzoli Orthopaedic Institute, Bologna, provides a focus on clinical needs for the design of scaffolds for bone and osteochondral regeneration. On this basis several patents and commercial products have been developed and, in particular, the osteochondral scaffold (WO2006092718) is now subject of clinical study in Europe.*



### Main Publications

- S. Sprio, M. Sandri, S. Panseri, C. Cunha, A. Tampieri *Hybrid scaffolds for tissue regeneration: chemotaxis and physical confinement as sources of biomimesis. Journal of Nanomaterials* (2012) DOI:10.1155/2012/418281
- A. Nicoletti, M. Fiorini, J. Paolillo, L. Dolcini, M. Sandri, D. Pressato. *Effects of different crosslinking conditions on the chemical-physical properties of a novel bio-inspired composite scaffold stabilised with 1,4-butanediol diglycidyl ether (BDDGE). Journal of Materials Science: Materials in Medicine* (2013) 24(1): 17–35
- S. Scaglione, P. Giannoni, P. Bianchini, M. Sandri, R. Marotta, G. Firpo, U. Valbusa, A. Tampieri, A. Diaspro, P. Bianco, R. Quarto. *Order versus Disorder: in vivo bone formation within osteoconductive scaffolds* **Scientific Reports (Nature Publishing Group)** Publ. 2, (2012) 274

### Relevant Projects



**OPHIS:** NMP-FP2466373-2 (2010-14) Composite Phenotypic Triggers For Bone and Cartilage Repair  
**SMILEY:** NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes

## Apatiti sostituite per produzione ed assorbimento di energia

Responsabile scientifico: **Anna Tampieri**, [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Alessio Adamiano, Simone Sprio, Michele Iafisco, Monica Sandri, Andrea Ruffini, Alessandra Sanson, Alex Sangiorgi, Nicola Sangiorgi

L'idrossiapatite (HA:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) è un biomateriale di largo uso nella riparazione e rigenerazione di difetti ossei; l'HA è anche riconosciuta come un materiale molto interessante per la purificazione dell'ambiente, grazie alla sua abilità di assorbire facilmente una varietà di composti inorganici e di sostanze organiche come proteine e batteri. A questo proposito specifiche sostituzioni ioniche nel reticolo dell'HA possono attivare specifiche funzionalità che consentono una grande flessibilità di utilizzo. In particolare la sostituzione di ioni calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) con  $\text{Ti}^{4+}$  può essere ottenuta durante processi di sintesi a bassa temperatura; la sostituzione ionica destabilizza il reticolo dell'HA e genera un riarrangiamento atomico che provoca una diminuzione del gap di energia nella struttura a bande dell'HA. In queste condizioni, la Ti-HA acquisisce proprietà fotoelettroniche che sono promettenti per implementare nuove celle solari sensibilizzate con colorante (DSSCs) per la produzione di energia, che sono tra le più avanzate e promettenti vie per produrre elettricità in assenza di alimentazione elettrica.

Questi nuovi dispositivi possono inoltre trarre vantaggio delle proprietà assorbenti dell'HA di ottenere nuovi strumenti per la foto-degradazione di varie sostanze organiche e purificazione di superfici dai batteri.

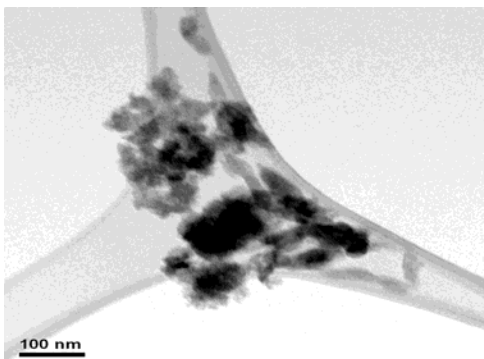
La nuova Ti-HA viene anche ottenuta mediante nucleazione eterogenea su fibre naturali rese elettroconduttive mediante coating con polimeri conduttivi come polipirrolo e polialanina. Inoltre l'HA sostituita con titanio è in grado di assorbire la luce nella regione degli ultravioletti; questa è una caratteristica molto importante in considerazione dei danni che possono occorrere alla pelle sovraesposta alla radiazione solare, che vanno da bruciate, eritemi fino al cancro della pelle. A questo proposito lo sviluppo di nuovi mezzi biocompatibili per la protezione della pelle ha un enorme impatto socio-economico e può essere rilanciato sfruttando le proprietà multi-funzionali della Ti-HA.

## Substitutes apatites for energy production and absorption

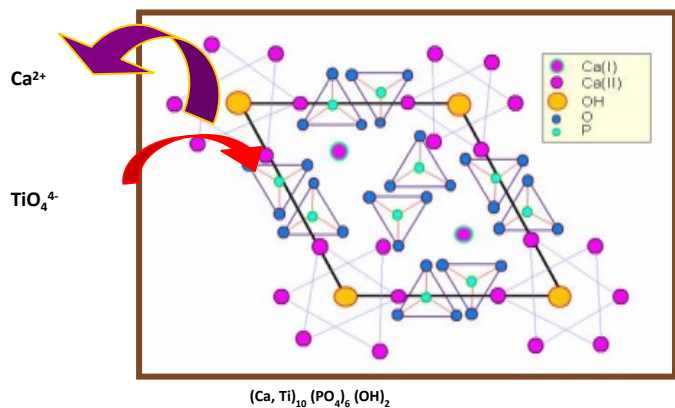
*Hydroxyapatite (HA:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) is a widely used biomaterial for the repair and regeneration of bone defects; however HA is also recognized as a very interesting material for environmental purification due to its ability to easily absorb a number of inorganic compounds as well as different organic substances such as proteins and bacteria. In this respect, specific ion substitutions in the lattice of HA can enable specific functionality so to open the way to multi-functional and multi-purpose applications. In particular, the substitution of Calcium ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ) with  $\text{Ti}^{4+}$  ions can be performed during synthesis at low temperature; the ionic substitution destabilize the HA lattice and yields an atomic rearrangement that yields a decrease of the energy gap of the band structure of HA. In this condition, Ti-HA gathers photoelectronic properties that are promising for implementation into new dye-sensitized solar cells (DSSCs) for energy production, that are among the most advanced and promising ways of providing electricity in the absence of a main power supply. These new devices can also take advantage of the absorbing properties of HA to achieve new tools for photo-degradation of several organic substances and purifications of surfaces from bacteria.*

*The new Ti-HA phase is obtained also by heterogeneous nucleation on natural fibres, made electroconductive by coating with conductive polymers such as polypyrrole and polyaniline.*

*Moreover Titanium-substituted HA is also able to absorb light in the ultraviolet region; this is a very relevant feature in the view of the serious damages that may affect the skin of people over-exposed to sun radiation, spanning from burns, erythema, and skin cancer. In this respect the development of new biocompatible media for skin protection has a huge socio-economic impact and can be enhanced by exploiting the multi-functional properties of Ti-HA.*



Heterogeneous nucleation of Ti-HA nanoparticles



### Relevant Projects

**SMILEY:** NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) *Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes*



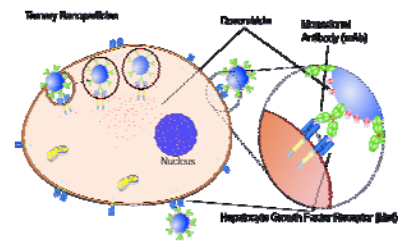
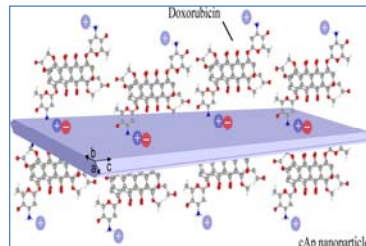
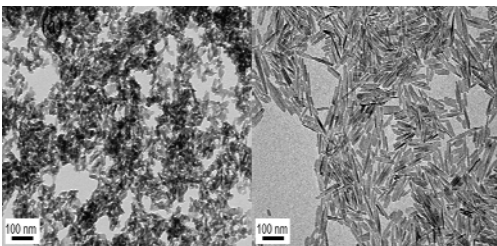
## Funzionalizzazioni e apatiti nanocristalline per la preparazione di nano-sistemi intelligenti

Responsabile scientifico: **Michele Iafisco** [michele.iafisco@istec.cnr.it](mailto:michele.iafisco@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Anna Tampieri, Monica Sandri, Simone Sprio, Alessio Adamiano

Le apatiti nanocristalline costituiscono la maggior parte della fase inorganica dei tessuti duri umani e attualmente c'è un grande interesse nella preparazione dei loro analoghi sintetici chiamati "biomimetici". La loro funzionalizzazione superficiale con molecole bioattive rappresenta una grossa sfida per la produzione di materiali intelligenti poiché li rende in grado di trasferire informazioni e di agire selettivamente nell'ambiente biologico. A questo scopo la nostra attività si è focalizzata sulla preparazione (e caratterizzazione) di nanocristalli di apatite usando differenti procedure (sol-gel, diffusione di vapore, cristallizzazione assistita da molecole organiche di citrato e acetato) per variane le loro proprietà chimico-fisiche, la biocompatibilità e la biodegradabilità. Le nanoparticelle di apatite sono state funzionalizzate con biomolecole a diversa attività biologica (i.e. lattoferrina, bisfosfonati, doxorubicina e complessi di platino) per la cura di patologie ossee (osteoporosi, osteosarcoma, etc.). I biomateriali preparati in questo modo possono agire da materiale di supporto per la proliferazione cellulare e formazione di nuovo tessuto e allo stesso tempo rilasciare le biomolecole legate in precedenza. Le dimensioni, la forma e la chimica di superficie delle apatiti influenza l'adesione e le cinetiche di rilascio delle biomolecole che possono essere ottimizzate per sviluppare dispositivi a rilascio controllato "personalizzati". Grazie alle loro eccellenti proprietà biologiche e alla degradazione in funzione del pH, le apatiti sono state usate anche come sistemi multifunzionali iniettabili di "drug-delivery" per la terapia del cancro. Esse sono state funzionalizzate sia con l'agente bioattivo che con la funzione di "targeting" (i.e. anticorpo monoclonale, acido folico, etc.). Grazie a quest'ultima funzionalità esse possono interagire in maniera specifica con le cellule bersaglio (cellule tumorali) ed essere in grado di rilasciare al loro interno il farmaco che successivamente viene internalizzato nel nucleo svolgendo la sua attività citotossica.

## Functionalizations and nanocrystalline apatites for the preparation of smart nano-systems

*Nanocrystalline apatites constitute the main inorganic part of human hard tissues, and a growing focus is devoted to prepare their synthetic analogs, so-called "biomimetic". The surface functionalization of apatite nanocrystals with bioactive molecules represents a main challenge for the fabrication of innovative smart materials because makes them able to transfer information to and act selectively on the biological environment. In this respect, our activity is focused on the preparation (and characterization) of bio-inspired apatite nanocrystals according to several procedures (sol-gel, vapor diffusion, citrate and acetate assisted crystallization) to tailor their chemical-physical properties, biocompatibility and biodegradability. Apatite nanoparticles were functionalized with biomolecules differing for their biological activity (i.e. lactoferrin, bisphosphonates, doxorubicin, platinum-complexes) and useful for the treatment of different bone disease (osteoporosis, osteosarcoma, etc.). The so-prepared biomaterials can act not only as a supporting materials for cell invasion and formation of new tissue, but also as a means to deliver previously loaded biomolecules. Size, shape, and surface chemistry of the apatites dictate the uptake and release kinetics of the biomolecules that can be optimized and tailored to develop a sort of "personalized" drug delivery device. Moreover, due to their excellent biological properties and degradation as a function of pH changes, apatite nanoparticles were used as multifunctional injectable intracellular drug-delivery systems in cancer therapy. They were functionalized with the active agent (drug) as well as with the targeting moiety (i.e. monoclonal antibody, folic acid, etc.). In this way they can interact specifically with their target cells (tumor cells), and be able to deliver to them the drug which is then internalized within the nucleus and displays its cytotoxic activity.*

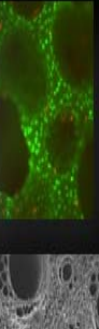


### Main Publications

- H.S. Alghamdi, R Bosco, S.K. Both, M. Iafisco, S.C.G. Leeuwenburgh, J.A. Jansen, J.J.J.P. van den Beucken. Synergistic effects of bisphosphonate a calcium phosphate nanoparticles on peri-implant bone responses in osteoporotic rats. **Biomaterials**. *In press*
- M. Montesi, S. Panseri, M. Iafisco, A. Adamiano, A. Tampieri. Effect of hydroxyapatite nanocrystals functionalized with lactoferrin in osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**. *In press*
- M. Iafisco, J.M. Delgado-Lopez, E.M. Varoni, A. Tampieri, L. Rimondini, J. Gomez-Morales, M. Prat. Surface receptor targeted biomimetic apatite nanocrystals for cancer therapy. **Small** (2013), 9(22), 3834-4.
- I. Rodríguez-Ruiz, J.M. Delgado-López, M. Durán-Olivencia, M. Iafisco, A. Tampieri, D. Colangelo, M. Prat, J. Gómez-Morales. pH-responsive delivery of doxorubicin from citrate-apatite nanocrystals with tailored carbonate content. **Langmuir**. (2013), 29(26), 8213-21.

### Relevant Projects

- Progetto Bandiera NanoMax (PNR-CNR 2011-2013)
- Progetto Bandiera Invecchiamento (PNR-CNR 2012-2014)
- Progetto Galileo 2012-2013



## Trasformazioni biomorfiche: impianti Bioattivi con struttura porosa gerarchicamente organizzata

Responsabile scientifico: **Andrea Ruffini**, [andrea.ruffini@istec.cnr.it](mailto:andrea.ruffini@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Anna Tampieri, Simone Sprio, Daniele dalle Fabbriche

L'attività è dedicata allo sviluppo di impianti porosi con struttura gerarchicamente organizzata in grado di mimare le caratteristiche morfologico-strutturali dell'osso e di esibire adeguate proprietà biomeccaniche.

Recenti studi avanzati indirizzati allo sviluppo di strutture porose consistono nell'applicazione di processi di trasformazione morfo-sintetica di templanti naturali, con cui si possono ottenere impianti ossei a base calcio-fosfatica con proprietà rigenerative, che riproducono in dettaglio strutture biologiche naturali, non ottenibili con alcuna delle attuali tecniche di fabbricazione.

Un innovativo processo ceramico multi-step è stato sviluppato con successo per ottenere una nuova generazione di dispositivi con struttura gerarchicamente organizzata per applicazioni in ortopedia, indirizzati particolarmente alla rigenerazione di osso lungo sottoposto a carico meccanico per il quale non esistono ancora efficaci soluzioni cliniche. Questi scaffold riproducono la struttura tridimensionale dei legni, con proprietà porosimetriche, morfologiche e chimiche simulanti l'osso umano (biomimetismo), in grado di indirizzare la ricostruzione ossea attraverso una rapida vascolarizzazione, accrescimento osseo e rimodellamento. La peculiare struttura di questi materiali permette un'efficiente distribuzione del carico meccanico fino a livello trabecolare, dove prendono luogo processi di rimodellamento osseo grazie a fenomeni biomeccanici localizzati. Strutture lignee selezionate possono essere utilizzate per riprodurre differenti porzioni di osso, in particolare quelle corticali e spongiose (es. Rattan e Quercia).

## Biomorphic transformations: bioactive implants with hierarchically organized porous structures

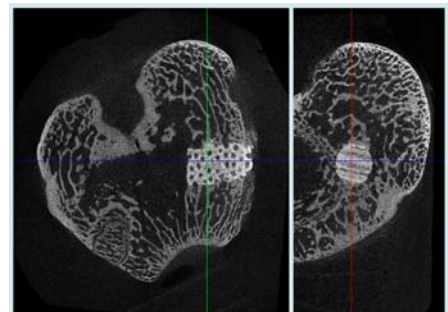
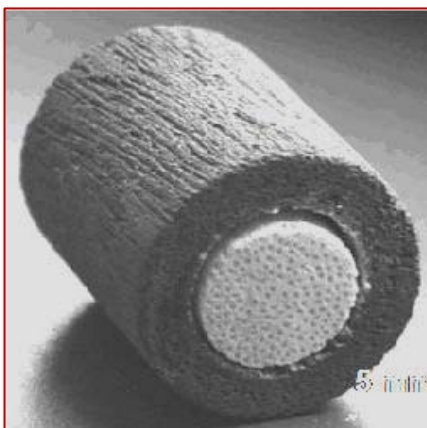
*The activity is dedicated to the development of porous implants with hierarchically organized structure, to mimic the morphological-structural characteristics of bone and to exhibit adequate biomechanical properties.*

*New advanced studies addressed to the development of porous structures have been performed through the application of morpho-synthetic transformations of natural wood based-templates. It is possible to obtain calcium phosphate-based devices with regenerative properties, without altering the original structure-morphology.*

*A novel multi-step processing technique, based on the biomorphic transformation of wood template to synthetic hydroxyapatite, has been successfully developed to fabricate a new generation of hierarchically structured ceramic scaffolds for orthopaedic applications. This class of devices is particularly addressed towards regeneration of long load-bearing bones, for which acceptable clinical solutions still do not exist.*

*These scaffolds own structure like wood, with a three-dimensionally interconnected macro- and micro-porous, morphological and chemical features simulating human bone (biomimetism), able to guide bone reconstruction through rapid vascularization, adaptive bone growth, and remodelling. The peculiar structure of bone also allows an efficient distribution of the mechanical loads up to the smallest trabeculae, where the strain-sensing mechanism exhibited by the osteocyte cells can take place and activate the permanent bone remodelling process.*

*Selected wood structures can be used to reproduce different bone portions characterized by different porosity and pore distribution, such as cortical and spongy bone (i.e. Rattan and Red Oak).*



### Main Publications

- Ruffini A., Sprio S, Tampieri A., 2013 «Study of the hydrothermal transformation of wood-derived calcium carbonate into 3D hierarchically organized hydroxyapatite» Chemical Engineering Journal, 217, 150–158
- Sprio S, Sandri M, Panseri S, Iafisco M, Ruffini A, Minardi S, Tampieri A., 2013 «Bone substitutes based on biomineralization» Mallick KK, editor. Bone substitutes biomaterials, Woodhead Publishing. Cap.12
- PATENT: WO2013063201 PCT/IB2011/054980. EU, USA, CANADA, RUSSIA, INDIA, CINA, AUSTRALIA « Wood-derived bone implants »

## Sistemi filtranti intelligenti per lo scambio di umidità e la cattura di nanoparticelle per applicazioni biomedicali

## Smart air filters for moisture exchange and capture of nanoparticles in biomedical applications

Responsabile scientifico: **Monica Sandri** [monica.sandri@istec.cnr.it](mailto:monica.sandri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Elisa Savini, Andrea Ruffini

In questa ricerca vengono sviluppati nano-compositi porosi ibridi per utilizzo come dispositivi filtranti per nanoparticelle e come sistemi per lo scambio di umidità. Questi dispositivi esibiscono una geometria complessa che consente l'intrappolamento delle nano-particelle nella regione critica 30-100 nm senza elevata caduta di pressione.

I compositi ibridi vengono sviluppati mediante un processo di biomineralizzazione indotto a partire da una sospensione di miscele di polimeri naturali (ad esempio gelatina, chitosano, alginato) in presenza di ioni  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  a temperatura e pH controllati. Questo consente la simultanea fibrazione e nucleazione eterogenea di quantità definite di fasi apatiche a bassa cristallinità.

Gli idrogel mineralizzati così ottenuti saranno soggetti a processi di *freeze-drying* dove le cinetiche di congelamento e sublimazione sono controllate per ottenere microstruttura e orientazione dei pori controllate. I costrutti 3D mineralizzati esibiscono elevata porosità aperta ed interconnessa. La formazione dei costrutti mineralizzati sarà ottimizzata mediante aggiunta di agenti reticolanti per regolare la stabilità meccanica e la rigidità così come la dimensione e l'orientazione dei pori. Questi fattori, unitamente alle caratteristiche di idrofilicità e idrofobicità dei polimeri impiegati influenzano la permeabilità del dispositivo.

I dispositivi filtranti possono anche essere dotati di sistemi ad interferenza mediante nucleazione eterogenea di fasi inorganiche superparamagnetiche come apatiti drogate specificamente con ioni ferro (Fe-HA). In questo caso, controllando il rapporto  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  e lo stato di coordinazione all'interno del reticolo dell'apatite è possibile indurre superparamagnetismo intrinseco che può essere utilizzato per aumentare la capacità di cattura di particelle ferromagnetiche durante la filtrazione.

Inoltre, l'ipertermia come effetto collaterale del superparamagnetismo nella Fe-HA, può essere sfruttata per generare gradienti di temperatura all'interno dei mezzi filtranti: le forze termoforetiche possono causare lo spostamento delle particelle di aerosol verso la parte fredda delle superfici interne del composito così da incrementare l'efficienza di cattura del filtro. Specifiche funzionalità batteriostatiche/battericide sono ottenute applicando il processo di biomineralizzazione per indurre la nucleazione eterogenea di apatite sostituita con ioni argento che ha effetti noti contro i batteri. Tali filtri possono essere adattati per uso come filtri HME che, come unico dispositivo che consente sia la filtrazione che l'umidificazione, limiterà le infezioni nel paziente e i seri problemi che ne conseguono.

*Hybrid porous nano-composites to be used as filtering devices and moisture exchange systems are developed with complex geometry contributing to the water and nano-particles trapping (including the unrestrainable particle with dimensions in the range of 30-100 nm) without excessive pressure drop.*

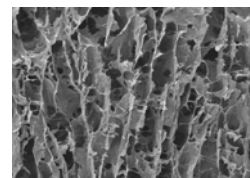
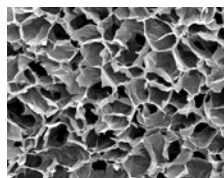
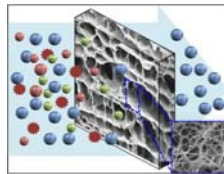
*The hybrid composites are developed through a biomineralization process induced starting from a suspension of blended natural polymers (e.g. gelatine, chitosan, alginate) in the presence of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions at controlled temperature and pH. This will achieve the simultaneous fibration and heterogeneous nucleation of defined amounts of low crystallinity nano-apatite-like phases.*

*The obtained mineralized gels will be subjected to freeze-drying processes where the kinetics of freezing and sublimation are controlled to achieve tailored microstructure and pore orientation. The mineralized 3-D constructs exhibit highly open and interconnected porosity. The formation of the mineralized constructs will be controlled by large amounts of cross-linking agents to regulate mechanical stability and stiffness as well as pore size and orientation. This in compliance with the hydrophilicity and hydrophobicity of the involved polymers will influence the permeability of the device.*

*The filtering devices can be also endowed with interference system nucleating on the polymeric phase superparamagnetic mineral phases like Fe-doped hydroxyapatite (Fe-HA). Indeed, by controlling the  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  ratio and the coordination state inside the apatitic lattice it is possible to induce intrinsic superparamagnetism that could be exploited to increase the capture of ferromagnetic-like nanoparticles during filtration.*

*Moreover, hyperthermia, as a side effect of superparamagnetism in Fe-HA, is exploit to produce temperature gradients inside the filtering media: the thermophoretic force can cause the displacement of the aerosol particles towards the cold part of the internal composite surfaces, thus increasing the filter capture efficiency.*

*Bacteriostatic/bactericide functionality will be achieved by inducing the biomineralization process to nucleate Ag-substituted HA with its known effects against bacteria. Such filters can be adapted for use as HME filters which, as a unique sterile item providing both filtering and humidification, will limit infections and consequently serious diseases.*



### Relevant Project



**SMILEY: NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes**

## Impianti per la rigenerazione della rete vascolare e organi molli

## Implants for the regeneration of vascular network and soft organs

Responsabile scientifico: **Anna Tampieri** [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Monica Sandri, Silvia Panseri, Monica Montesi, Michele Iafisco

Matrici polimeriche a base di collagene sono sviluppate per la rigenerazione di tessuti molli quali il muscolo cardiaco, tendini/legamenti, menisco ed organi endocrini (timo, tiroide). Vengono applicati processi biologicamente ispirati di auto-assemblaggio e auto-organizzazione indotti da variazioni di pH a blends polimerici naturali e bio-erodibili (collagene, cellulosa, alginato, chitosano, PLLA, PCL, PGA, PEG) per ottenere costrutti 2-D e 3-D con elevata mimesi del tessuto stromale. Vengono preparate membrane a base collagenica mediante tape-casting ed ingegnerizzate per funzionare come *patch* per il miocardico infartuato. L'elasticità delle membrane può essere modulata mediante l'impiego di vari tipologie di molecole quali l'elastina e/o agenti reticolanti, al fine di ricreare un sistema ideale ai processi di contrazione dei cardiomiociti coltivati sulla sua superficie.

La tecnica di spin-casting applicata a blends di collagene-cellulosa è utilizzata per la realizzazione di dispositivi finalizzati alla riparazione di legamenti crociati anteriori (ACL) in grado di resistere a cicli ripetuti di elongazione evitandone lo snervamento. Vengono sviluppati scaffold innovativi in grado di mimare architettura 3D a livello dalla macro- alla nano-scala e la funzione dello "stroma" (cioè l'insieme di matrice interstiziale connettiva-vascolare-extracellulare) di organi endocrini. Questa attività si basa sul concetto che le matrici 3D *stoma-like* possono essere epigeneticamente guidare la crescita ed il differenziamento di cellule che, ricevendo stimoli posizionali e funzionali, sono in grado di rigenerare un intero organo con tutte le sue funzioni. In quest'ottica matrici polimeriche complesse vengono preparate attraverso tecniche di *reverse engineering* per sviluppare impianti organomorfici ingegnerizzati per generare alberi vascolari e la struttura stromale di organi endocrini e linfo-emopoietici.

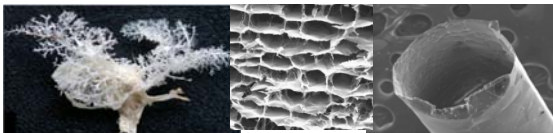
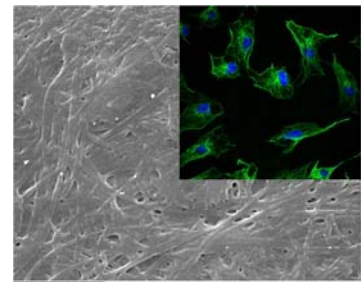
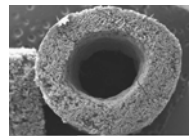
Il trapianto di organi ha un elevato potenziale clinico, ma la bassa disponibilità di donatori rappresenta un limite per il progresso di questa terapia. Lo sviluppo di una matrice stromale 3D bio-ingegnerizzata con cellule del paziente consentirà il superamento dei due principali ostacoli nella tecnica dei trapianto: la mancanza di organi e la tossicità che insorge a seguito di processi di immunosoppressione.

*Collagen based complex polymeric matrixes are prepared to be used for soft tissue regeneration such as heart, tendons/ligaments, meniscus and endocrine organs (thymus, thyroid gland). Biologically inspired processes of pH induced self-assembling and self-organization are applied to various polymeric blends of natural and/or bio-erodible polymers (collagen, cellulose, alginate, chitosan, PLLA, PCL, PGA, PEG) to obtain 2-D and 3-D construct with high affinity with soft tissues. Collagen based membranes are prepared by tape-casting and engineered as patch for infarcted myocardium. The membrane elasticity are modulated by addition of several molecules such as elastine and/or cross-linking agents so that to create the best environment for cardio-miocytes contraction.*

*Spin-casting techniques have been applied to collagen based functionalized gels to create scaffolds for AC-ligaments able to resist to repeated elongation cycles and avoiding yield.*

*Innovative biocompatible scaffolds mimicking the natural 3D architecture at macro-micro-nanoscale and functionality of the "stroma" (i.e. connective-vascular-extracellular matrix interstitium) of the endocrine organs are developed. The main concept is based on the idea that 3D stroma-like matrixes may epigenetically guide growth and differentiation of seeded cells that, receiving both positional and functional cues are able to regenerate an entire functionally-competent organ. In this view complex polymeric matrixes are prepared by inverse casting techniques to develop organomorphic implants engineered to regenerate the vascular tree and stromal structure of endocrine and lympho-hematopoietic organs.*

*Gland transplantation has great clinical potential, but the shortage of transplant donors limits the progress of this therapy. Development of a bioengineered 3D stroma-like matrixes, where the cellular component is autologous, will overcome two major obstacles in transplantation: the lack of organs and the toxicity arising from lifelong immunosuppression.*



### Relevant Publications

- M. Sandri, R. Rizzi, G. Schiattarella, J.H. Levaldi Ghiron, M.V.G. Latronico, G. Pironti, G.A. Chiariello, G. Esposito, A. Tampieri, G. Condorelli. *A Collagen Membrane-based Engineered Heart Tissue Improves Cardiac Function in Ischemic Rat Hearts*. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials* (2012) Vol 2(1) 20-27 DOI 10.1680/bbn.12.00028
- Toni R, Bassi E, Zini N, Zamparelli A, Barbaro F, Dallatana D, Mosca S, Lippi G, Spaletta G, Bassoli E, Denti L, Gatto A, Parrilli A, Fini M, Giardino R, Sandri M, Sprio S, Tampieri A. *Bioartificial endocrine organs: at the cutting edge of translational research in endocrinology*. In Tampieri A, Sprio S, eds: *Bio-inspired Regenerative Medicine\_ Materials, Processes and Clinical Applications*, PAN Stanford Publishing, Singapore.

### Relevant Project

MORPHOBONE: RBAP10MLK7\_004 Coord. *Istituti Ortopedici Rizzoli*



## Interazione cellula-materiale: valutazioni biologiche

## Cell-material interaction: biological evaluations

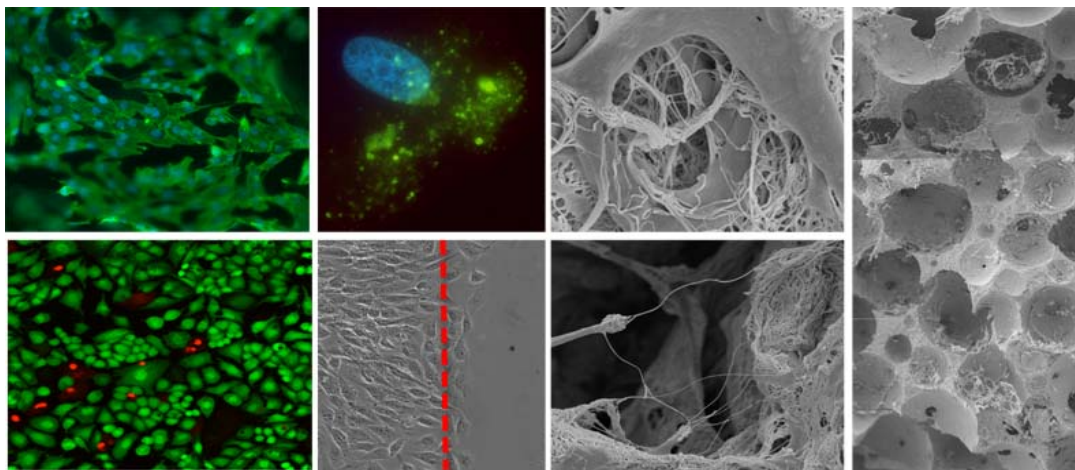
Responsabile scientifico: **Silvia Panseri** [silvia.panseri@istec.cnr.it](mailto:silvia.panseri@istec.cnr.it)  
Collaboratori: Anna Tampieri, Monica Montesi, Silvia Minardi, Monica Sandri

Il Laboratorio di Nano-biomagnetismo ha lo scopo di valutare **biocompatibilità** e **biofunzionalità** di materiali e dispositivi in relazione alla loro capacità rigenerativa di differenti organi e tessuti umani in risposta a danni causati da traumi e/o malattie degenerative (osteoartrosi, osteoporosi, etc.). I biomateriali vengono studiati anche in associazione a stimolatori **biologici (cellule differenziate e non, fattori di crescita ed altre molecole segnale, stimolazioni biofisiche)**. In particolare, **culture cellulari di linea o primarie** sono impiegate nello studio *in vitro* di materiali per l'analisi di proliferazione, adesione, vitalità, apoptosi nonché dell'attività di sintesi di proteine della matrice extracellulare, fattori di crescita, citochine infiammatorie, enzimi ed altri fattori espressione del metabolismo cellulare. Nell'ambito degli studi di **medicina rigenerativa ed ingegneria tessutale** i biomateriali vengono ingegnerizzati *in vitro* per analizzare la colonizzazione ed il differenziamento cellulare, la produzione di tessuto neoformato in laboratorio a seconda delle caratteristiche chimiche e strutturali degli scaffold. Grazie all'impiego di un **bioreattore a perfusione**, è possibile ricreare *in vitro* una condizione tridimensionale simil-fisiologica ottenendo costrutti ingegnerizzati. Un'innovativa linea di ricerca è dedicata a **materiali magnetici**, alla possibilità di utilizzare nuove particelle a base di idrossiapatite intrinsecamente magnetica (brevettata dal nostro laboratorio) per magnetizzare le cellule e guidarle selettivamente con un campo magnetico esterno. Inoltre le stesse nanoparticelle possono essere impiegate per un rilascio controllato di farmaci e/o fattori di crescita.

*The laboratory of Nano-Biomagnetism aims to evaluate the **biocompatibility** and **biofunctionality** of novel biomaterials for regenerative medicine after trauma or degenerative diseases (e.g. osteoarthritis, osteoporosis). The *in vitro* studies investigate cytotoxicity, biocompatibility, biofunctionality, bioactivity of biological and synthetic materials. For therapies aimed at tissue regeneration, biomaterials will be studied also in association to **biological stimulators (differentiated and dedifferentiated cells, growth factors and other signal molecules, biophysical stimulations)**. Cell lines and primary cell cultures are used to evaluate proliferation, adhesion, vitality, apoptosis, extracellular matrix protein synthesis activity, growth factors, inflammatory cytokines and enzymes. In **regenerative medicine and tissue engineering** studies, biomaterials will be engineered *in vitro* to analyze colonization and cell differentiation and also the neo-formed tissue produced in laboratory according to chemical and structural characteristics of scaffolds.*

*A perfusion bioreactor gives us the possibility to create *in vitro* a 3D engineered construct mimicking physiological conditions.*

*A novel research topic is dedicated to **magnetic materials**, using innovative magnetic nanoparticles HA-based (patented by our lab) we can magnetize cells and guide them in a specific site with an external magnetic field. Moreover these particles could be employed for controlled drug-delivery system.*

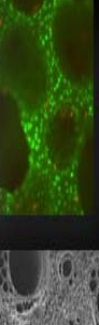


### Main publications

- Montesi et al. Effect of hydroxyapatite nanocrystals functionalized with lactoferrin in osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *J Biomed Mater Res A*. 2014 Mar 17.
- Panseri et al. Intrinsically superparamagnetic Fe-Hydroxyapatite nanoparticles positively influence osteoblast-like cell behaviour. *J Nanobiotech*. 2012, 10:32.
- Panseri et al. Magnetic Hydroxyapatite Bone Substitutes to Enhance Tissue Regeneration: Evaluation *in vitro* using Osteoblast-like Cells and *in vivo* in a Bone Defect. *PLoS One*. 2012;7(6):e38710.

### Relevant projects

**MAGISTER**: NMP3-LA-2008-214685 (2008-13) *Magnetic Scaffolds For In Vivo Tissue Engineering*  
**SMILEY**: NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) *Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes*



**Ceramici bioinerti per protesi strutturali****Bioinert ceramics for prostheses**

Responsabile scientifico: **Valentina Medri** ([valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it))

Collaboratori: Alida Bellosi, Claudio Capiani, Daniele dalle Fabbriche, Elena Landi, Mauro Mazzocchi, Cesare Melandri

ISTEC ha sviluppato ceramiche bioinerti per protesi strutturali e superfici articolari a minima usura; corpi dentali e corone; impianti endoossei osteointegrabili con rivestimenti bioattivi; compositi ceramici elettroconduttivi lavorabili per elettroerosione (EDM).

I ceramici ossidici di interesse: materiali sinterizzati di compositi zirconia-allumina destinati alla lavorazione meccanica CAD-CAM per l'ottenimento di dispositivi odontoiatrici (perni intragengivali endomandibolari; corpi dentari e corone), anche osteointegrabili attraverso l'applicazione di rivestimenti vetrosi bioattivi; sono stati sviluppati prototipi per impianti endoossei.

ISTEC ha anche esteso la ricerca ai ceramici non ossidici e relativi compositi a base di nitruro di silicio, proponibili per ricostruzioni protesiche totali e/o parziali di articolazioni grazie ad una usura ridottissima e un basso coefficiente di attrito, ad alta bagnabilità e lubrificazione. Inoltre non interferiscono con i sistemi diagnostici (TAC, NMR).

Componenti di ceramiche non-ossidici possono essere prodotti con gradienti di porosità: substrato poroso e superficie con elevate proprietà meccaniche. Tali tessiture sono alla base di impianti ortopedici con superficie articolare liscia su un piano, e una superficie porosa per l'osteointegrazione su un altro piano: opzione valida per impieghi quali, es. l'hip resurfacing. Compositi ceramici non ossidici, elettroconduttivi e lavorabili per elettroerosione (EDM) sono stati utilizzati per ottenere forme complesse semifinite (sottosquadri, dispositivi forati, tessiture superficiali, ecc.).

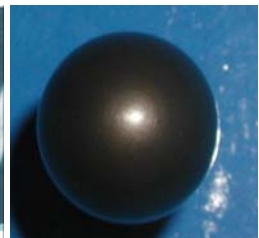
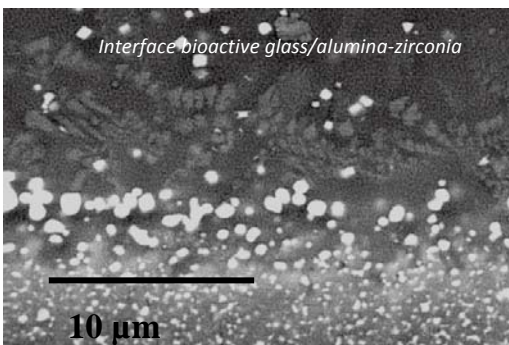
*ISTEC has developed bioinert ceramics for minimal wear articular surfaces, load bearing implants, crowns, abutments and endosteal implants, osteointegrated by bioactive coatings, electroconductive ceramic composites that can be machined in complex shapes by electrical Discharge Machining - EDM.*

*Regarding oxide ceramics: production of pre-shaped sintered ceramics based on zirconia-alumina composites; monoliths to be machined by CAD-CAM for dental and maxillofacial applications (endomandibular screws, abutments, teeth and crowns), able to be osteointegrated by a bioactive glass coating; prototypes for endosteal implants have been also realized.*

*Regarding non oxide ceramics, even silicon nitride-based composites, the interest is related to their suitability for partial and/or total prosthetic reconstruction of joints and bearing articular surfaces. Unique properties: low wear and friction coefficient, high wettability and lubrication in biological environment, no interference with diagnostic techniques (CAT, NMR).*

*Non-oxide ceramics scaffolds can be formulated in graded textures: porous substrate and hard bearing surface retaining high mechanical properties. Suitable for orthopedic implants with a smooth surface on one plane, and a porous surface for bone cells osteointegration on another plane: interesting option for hip resurfacing.*

*Non oxide electrically conductive composites suitable for EDM have been used to obtain semi-finished complex shapes (undercuts, devices with holes, surface textures).*



Prototype of device in electroconductive ceramic based on silicon nitride

**Main Publications and Congress Contributions**

- V. Medri, E. Landi, A. Bellosi, Chapter 7 Non-Oxide Ceramics, in: Materials for Joint Arthroplasty - Biotribology of Potential Bearings, R. Sonntag, J. P. Kretzer (Eds.), Imperial College Press, 2014
- Esposizione permanente sui Ceramiche Avanzate - sezione Bioceramiche al Museo Internazionale delle Ceramiche di Faenza.
- E. Landi, F. Valentini, E. Papa, V. Medri, Exploiting Sr ion in the development of bioceramics, Intern. Conf. MiMe-Materials in Medicine Faenza, 2013
- M. Mazzocchi, V. Medri, A. Bellosi, Functionalized silicon nitride for possible bio-applications International Conference MiMe-Materials in Medicine Faenza, 2013
- V. Marrocco, F. Modica, G. Guadagno, I. Fassi, V. Medri, G. Guicciardi, Preliminary analysis on micro-EDM milling of features with sloped surfaces machined on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-TiN, in Proceedings of XI Convegno AITeM, San Benedetto del Tronto, 2013
- M. Mazzocchi, V. Medri, A. Bellosi, Functionalized silicon nitride for bio-applications. 13th Conference of the European Ceramic Society, Limoges, France, 2013.

**Relevant Projects**

Progetto CNR-MISE BioTTasa-Trasferimento Tecnologico e integrazione di Biotecnologie per la Salute, l'Alimentazione e l'Ambiente

## Functionalized silicon nitride for bio-applications

The lifetime of a prosthetic device is 10-15 years, while 25% of the hip and knee joints are revision surgery due to premature failure. The use of advanced ceramics such as silicon nitride offers the possibility to prolong lifetime and reduce the failure of conventional joints.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  is an established biomaterial already implanted in human body. Further improvement in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  performances could be achieved by its functionalization. Compositing  $\text{Si}_3\text{N}_4$  with an electro-conductive phase allows to reach outstanding mechanical behavior and the possibility of manufacturing complex parts by electro discharge machining from simple shaped components. This is cost-effective and opens the possibility to customize the large bearing surfaces with complex topographies through CAD-CAM rendering. Moreover the near net shaping through wet forming techniques, opens new opportunities for the production of complex architectures in which the porosity is a functional property to exploit for bone substitution.

### With regards to enterprises...

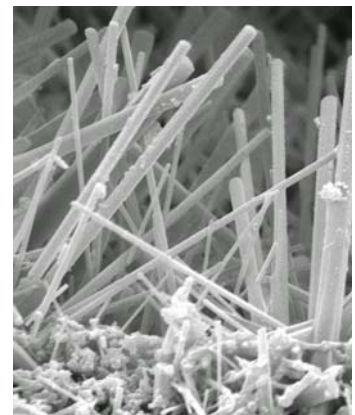
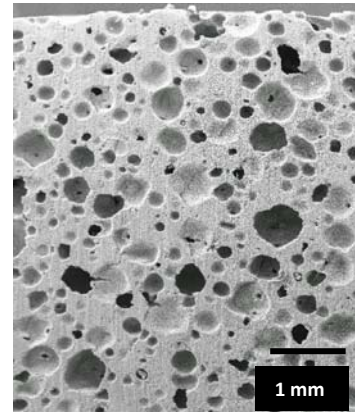
Based on thirty years of experience in Advanced Ceramics, ISTEC is able to design and realize the micro- and macro-structure of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  in order to carefully tailor the material's properties.

In collaboration with the machinery shop Andalò Gianni srl, ISTEC produces lab scale prototypes of real size, such as: elbow and knee prostheses, screws and plates for mini-fixation, textured surface and porous substrates for bone substitution.

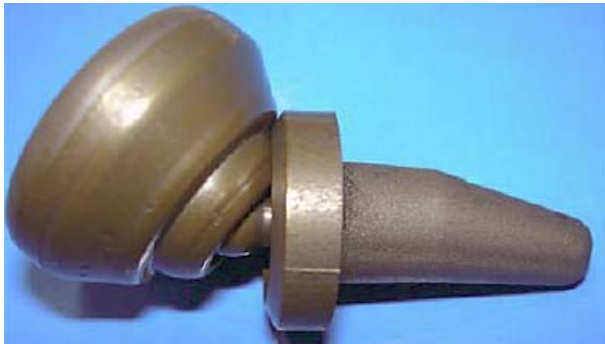
#### Contact

Valentina Medri [valentina.medri@istec.cnr.it](mailto:valentina.medri@istec.cnr.it)

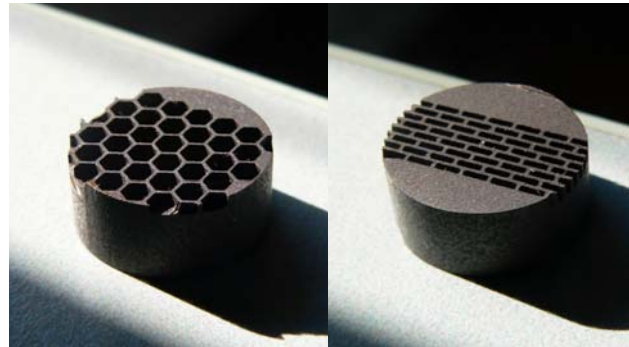
Mauro Mazzocchi [mauro.mazzocchi@istec.cnr.it](mailto:mauro.mazzocchi@istec.cnr.it)



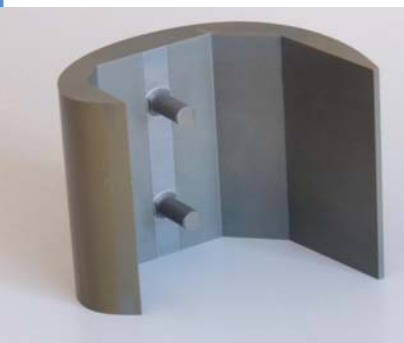
Porous architectures of silicon nitride



Elbow prosthesis of electro-conductive silicon nitride



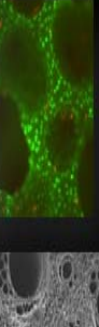
Surface texturing by EDM in cylinders with a diameter of 15 mm



Knee prosthesis



Screw and Plates for Minifixation





62

Patrimonio  
Culturale

Cultural Heritage



## Ceramica, mosaico e malte nel Patrimonio Culturale

## Ceramics, mosaics and mortars in the Cultural Heritage

Responsabili: **Michele Macchiarola** [michele.macchiarola@istec.cnr.it](mailto:michele.macchiarola@istec.cnr.it)

**Sabrina Gualtieri** [sabrina.gualtieri@istec.cnr.it](mailto:sabrina.gualtieri@istec.cnr.it)

Collaboratori: Bruno Fabbri, Elena Soragni, Chiara Zanelli

Gli studi archeometrici permettono di risalire alla provenienza e alla tecnologia di produzione di materiali o reperti attraverso caratterizzazioni chimico-fisiche e microstrutturali.

Le informazioni archeometriche, unitamente a quelle storico-archeologiche, consentono di ricostruire le rotte commerciali e i contesti di utilizzo degli oggetti. Lo studio diagnostico implica l'attenzione ad un sistema multiplo - oggetto culturale, ambiente e interazione - con il riconoscimento delle fasi di degrado e del loro grado di avanzamento.

L'analisi dei meccanismi di degrado di reperti antichi permette di approntare interventi di restauro mirati e pianificare azioni conservative nel tempo.

In questi ambiti le competenze riguardano:

-Caratterizzazione archeometrica dei materiali ceramici, musivi, lapidei e vetrosi finalizzata a studi di provenienza e di tecnologia di lavorazione.

-Sviluppo di compositi geopolimerici da usare nel restauro dei materiali ceramici e lapidei e per la riproduzione di parti mancanti.

-Sviluppo di malte idrauliche a base di calce idraulica naturale (NHL) o grassello e meta-caolino da usarsi per la messa in sicurezza di strutture archeologiche, la ricollocazione di lacerti musivi su supporto mobile ed altre tipologie di intervento su edifici storici.

*Through archaeometric studies, it is possible to deduce the provenance of the raw materials and to define the working technologies of finds. Microstructural, chemical and physical characterisations are basic for this scope.*

*The archaeometric information together with archaeological and historical ones allow to reconstruct the trade routes and the contexts of uses of the ancient objects. The diagnostic investigations concern the study of a multiple system, object-environment-interaction areas, focusing on the degradation phenomena and their rate of diffusion.*

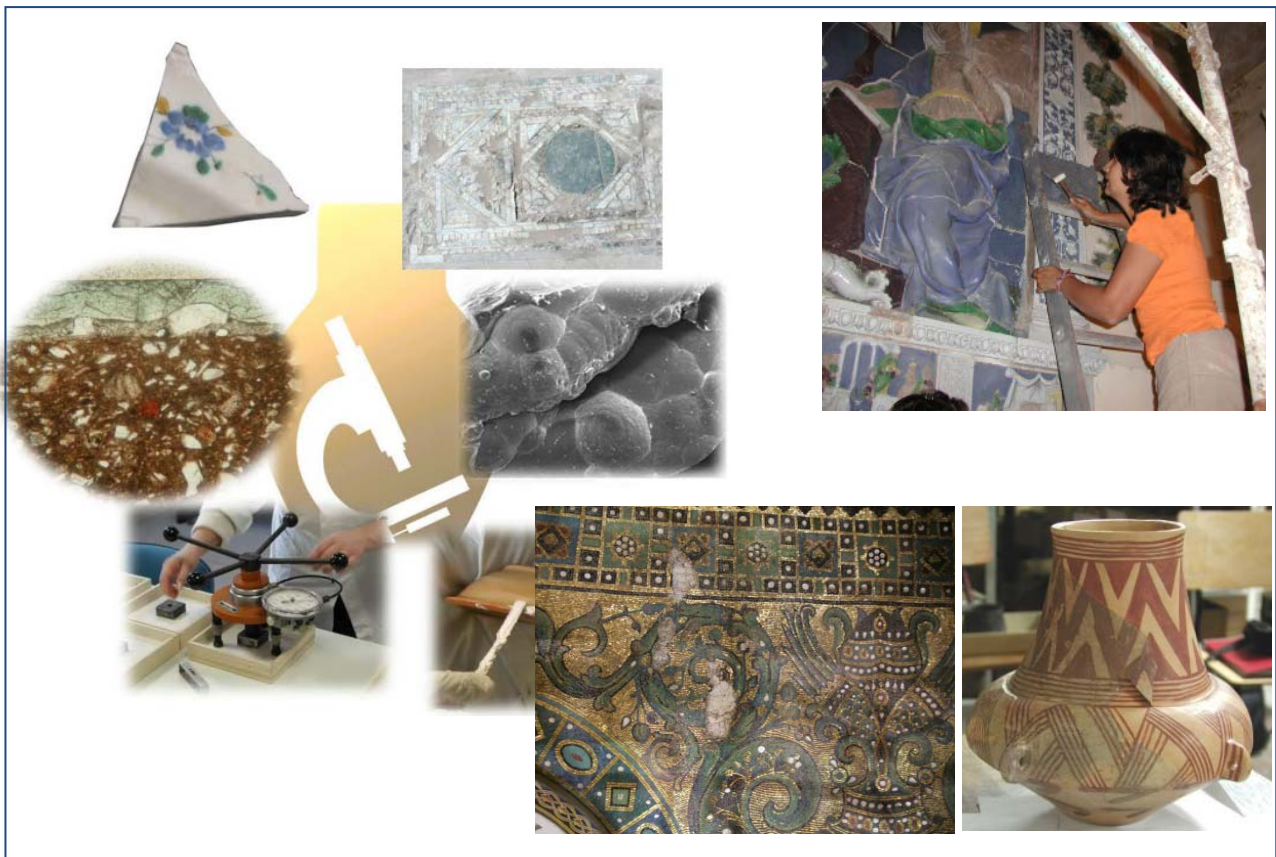
*The analysis of deterioration mechanisms occurring in the ancient finds is important in order to plan targeted restoration interventions and correct conservation and maintenance programs.*

*Main activities concern:*

*-Archaeometric characterisation of ceramics, mosaics, stones and glass in order to obtain information about provenance studies and working technologies.*

*-Development of geopolymers to be used in the restoration of ceramics and stones and for reproducing missing parts.*

*-Development of hydraulic mortars based on natural hydraulic lime (NHL) or slaked lime and meta-kaolin to be used as reinforcement of archaeological structures, for replacing mosaics on mobile support and other types of interventions on historical buildings.*



**Archeometria e diagnostica**

**Archaeometry and Diagnostics**

Responsabile scientifico: **Sabrina Gualtieri** [sabrina.gualtieri@istec.cnr.it](mailto:sabrina.gualtieri@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Michele Macchiarola, Elena Soragni, Bruno Fabbri, Chiara Zanelli

L'**archeometria** consente di «estrarre» dai beni culturali la storia di cui sono depositari. Negli ultimi tempi, la presa di coscienza di ciò ha fatto sì che si tornasse a guardare a questa scienza con più interesse e favorendo anche innovazioni nelle tecniche analitiche meno invasive.

La microstruttura, la composizione chimica e mineralogica, i piccoli difetti sono fondamentali per la ricostruzione del ciclo di vita di un oggetto culturale sia esso ceramico, musivo o lapideo. Anche le malte, solitamente poco prese in considerazione, nascondono informazioni importanti ai fini della comprensione della cultura di un popolo.

La **diagnostica** è la naturale conseguenza dell'archeometria focalizzando la propria attenzione alle forme e ai prodotti di degrado, cioè a ciò che succede nel reperto una volta in opera oppure in «disuso».

E' altrettanto importante però organizzare in maniera opportuna le procedure analitiche in modo da ridurre l'invasività.

ISTEC da qualche tempo sta lavorando all'elaborazione ed individuazione di una sequenza analitica idonea alla caratterizzazione dei materiali.

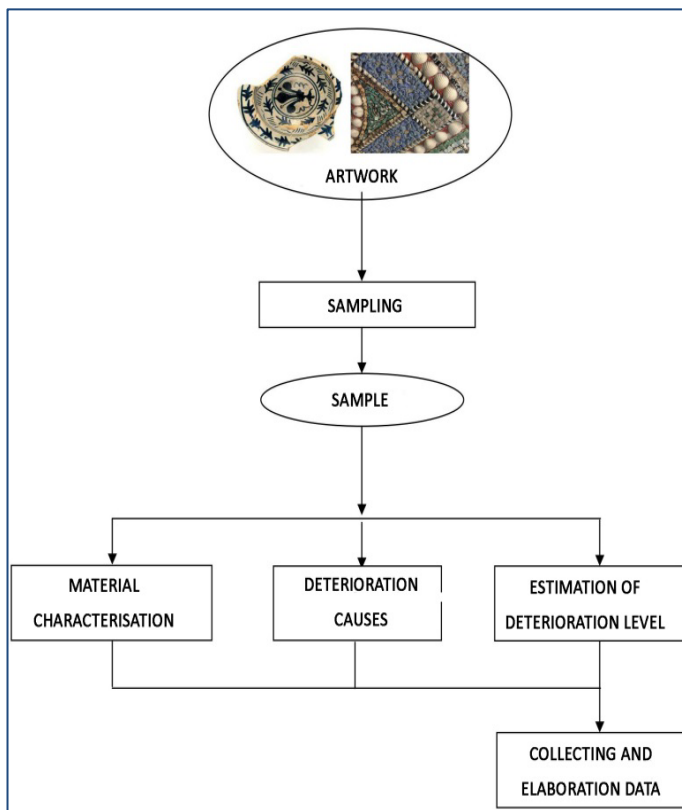
*Archaeometry allows us to "extract" from cultural heritage the history of which they are keepers. In recent years, the awareness of this has permitted to come back to look at this science with more interest and also promoting innovations in analytical techniques less invasive.*

*The microstructure, the chemical and mineralogical composition, the small defects are critical to the reconstruction of the life cycle of a cultural object, be it ceramic, mosaic or stone. Even mortars, usually not taken into account, hide important information for understanding the culture of a people.*

*Diagnostic studies are the natural consequence of the archaeometric ones focusing their attention on the forms and deterioration products, meaning the modifications involving the find when is used or when in disuse.*

*It is also important to organize in an opportune manner the analytical procedures in order to reduce their invasiveness.*

*ISTEC is working on the development and identification of an analytical sequence suitable for the characterization of materials.*



**Main Publications**

- C. Fiori, D. Vitali, E. Camurri, B. Fabbri, S. Gualtieri, "Archaeometrical study of Celtic ceramics from Monte Bibele (Bologna, Italy), *Applied Clay Science* (2011) , 53, 454-465
- B. Fabbri, S. Gualtieri, Caratteristiche tecnologiche della maiolica arcaica di produzione veneziana, *Proc. VII congresso Aiar*, 2012, Patron editore, G. Vezzalini, P. Zannini (a cura di), 1-11.
- B. Fabbri, S. Gualtieri, M. Macchiarola, Activities in collaboration with the National Museum in Damascus, Syria, *Cultura e attualità*, Arkos, 29, 2011, 52-58
- S. Gualtieri, B. Fabbri, Indagini archeometriche sulla porcellana di Capodimonte e criteri di base per una classificazione delle porcellane, *Atti Convegno Internazionale Fonti Storico – Tecniche della Porcellana Italiana*, 2013, V. Mazzotti, S. Gualtieri (a cura di), Valfrido Edizioni Faenza, 119-136
- B. Fabbri, S. Gualtieri, R. Lorenzi, Preliminary archaeometric study of the Neolithic pottery from the "Le Grotte" site (Spinazzola, Italy), *Archaeol Anthropol Sci* (2013) 5:235-243
- C. Fiori, S. Gualtieri, D. Chrysopoulos, C. Palmiero, Study of mosaic glasses from the Alpha Basilica (Sixth Century) of Nikopolis In Epirus, Greece, *Conservation Science in Cultural Heritage* (2013), vol. 13, 231-244
- B. Fabbri, S. Gualtieri, Reasons of Phosphorus Pollution in Archaeological Pottery and its Consequences: A Reassessment *New Developments in Archaeology Research* (2013) M. Adalssteinn and T. Olander (Eds), Nova Science Publisher Inc, 41-66.
- B. Fabbri, S. Gualtieri, S. Shoval, The presence of calcite in archaeological ceramics, *Journal of the European Ceramic Society* 34 (2014) 1899-1911

## Conservazione: materiali e tecniche innovative

## Conservation: materials and innovative techniques

Responsabile scientifico: **Michele Macchiarola** [michele.macchiarola@istec.cnr.it](mailto:michele.macchiarola@istec.cnr.it)  
 Collaboratori: Sabrina Gualtieri, Elena Soragni, Bruno Fabbri, Chiara Zanelli

I prodotti per la conservazione dei materiali lapidei naturali o artificiali nei Beni Culturali devono essere idonei per la funzione di restauro che debbono assolvere, inoltre debbono avere compatibilità con i materiali su cui si interviene e durabilità in diversi contesti ambientali. I geopolimeri, le malte idrauliche a base di grassello o calce idraulica naturale NHL e metacaolino sono in grado di soddisfare tutte queste caratteristiche.

I **geopolimeri** sono realizzati a partire da materie prime naturali inorganiche trattate a basse temperature, fatte reagire con soluzioni alcaline e consolidate a freddo. Per la loro versatilità possono essere impiegati per piccoli e grandi interventi conservativi, su singoli manufatti e su complessi archeologici o architettonici, per stuccature, riempimento di lacune, riproduzione di parti mancanti, consolidamento di strutture lapidee e in terra cruda e messa in opera di supporti mobili alleggeriti per lacerti musivi.

Le **malte idrauliche** a base di calce idraulica naturale e metacaolino o grassello e metacaolino sono perfettamente compatibili con i materiali storici, non producono sali solubili, sono particolarmente durevoli anche in ambienti umidi, opportunamente formulate possono raggiungere proprietà meccaniche molto elevate confrontabili con quelle delle malte cementizie. Sono ottimali per la messa in sicurezza di strutture archeologiche-architettoniche, la realizzazione di malte di allettamento per lacerti musivi, il riempimento di lacune, il recupero dell'edilizia storica e applicazioni in bio-edilizia (intonaci, allettamento, ecc.) e infine per iniezioni e stuccature.

*The products for the conservation of the natural and artificial stone materials in the Cultural Heritage must be fit for the restoration function that they must perform. In addition they must be compatible with the materials on which you operate and durable in different environmental contexts. Geopolymers, hydraulic mortars based on slaked lime or natural hydraulic lime NHL and meta kaolin meet all these requirements.*

*Geopolymers are made from natural inorganic raw materials processed at low temperatures and they react with alkaline solutions and harden cold. Thanks to their versatility can be used for small and large conservation works, on individual artefacts and archaeological sites or architectonic complexes for plastering, filling of lacunae, re-production of missing parts, consolidation of clay or stone structures and setting of light movable supports for mosaic fragments.*

*The hydraulic mortars based on natural hydraulic lime and meta kaolin or slaked lime and meta kaolin are compatible with the ancient materials, they don't produce soluble salts and they have high durability also in humid environments.*

*The hydraulic mortars appropriately prepared, can reach high mechanical properties, comparable with the mechanical ones of the cement mortars.*

*They are ideal for reinforcing of archaeological-architectonic structures, bedding mortars for mosaic fragments, filling of lacunae, recovery of historic buildings, applications in bio-building sector (plaster, bedding mortars, etc.) and for injections, and plastering.*



### Main Publications

- M. Macchiarola, 2011, Konservatorska dela na mozaikih v Italiji: svetle in temne strani - Conservazione musiva in Italia: luci ed ombre. *Atti del Convegno Internazionale sui mosaici "I mosaici dell'alto Adriatico"*, M. Stokin e S. Kramar (eds), Pubblicazioni dell'Istituto per la Tutela dei Beni Culturali della Slovenia, (2011), 25-44.
- B. Fabbri, S. Gualtieri, C. Leonardi, 2012, Modifications induced by the thermal treatment of kaolin and determination of reactivity of Metakaolin, *Applied Clay Science*, 73, 2-10.
- B. Fabbri (a cura di), 2012, Science and conservation for Museum collections, Kermesquaderni, Nardini Editore.
- M. Franković, M. Macchiarola, N. Smičiklas, 2013, Conservation and Restoration of Mosaic Fragments Depicting a Hunting Scene From the Collection of the National Museum in Zajecar, WHS Felix Romuliana, y: *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference "Harmony in Nature and Spirituality of Stone"*, ed. Dimitrijević, V., Kragujevac, Stone Studio Association, 2013, 53-68.
- S. Rescic, F. Fratini, S. Gualtieri, 2013, Geopolimeri e Beni Culturali, Capitolo 10, in Geopolimeri-Polimeri Inorganici Chimicamente Attivati, 197-223.

## Unità di ricerca all'ISTEC

### Commesse e moduli

ISTEC afferisce al **Dipartimento "Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali"** del CNR, diretto dal **Dott. Luigi Ambrosio**

nel cui ambito opera con le seguenti commesse:

#### **Produzione, lavorazione e caratterizzazione di ceramici e compositi strutturali a progettazione funzionale (D. Sciti)**

- Ceramici e compositi ultrarefrattari (UHTC) per applicazioni spaziali e strutturali (F. Monteverde)
- Produzione e caratterizzazione di materiali ceramici compositi funzionali elettroconduttivi e ad alta lavorabilità (D. Sciti)
- Ceramici trasparenti per applicazioni ottiche-elettromagnetiche (L. Esposito)
- Produzione e caratterizzazione di geopolimeri e ceramici biostrutturali (V. Medri)

#### **Nuove tecnologie per l'ambiente, l'edilizia, l'industria e i beni culturali (M. Dondi)**

- Nanotecnologie e processi colloidali (A. L. Costa)
- Processi e materiali per applicazioni elettromeccaniche (C. Galassi)
- Tecnologie innovative per l'edilizia (M. Raimondo)
- Archeometria, diagnostica e tecnologia per la conservazione dei beni culturali (M. Macchiarola)

#### **Tecnologie e materiali ceramici per applicazioni energetiche (A. Sanson)**

- Tecnologie e materiali ceramici per applicazioni energetiche (E. Mercadelli)
- Sviluppo e caratterizzazione meccanica e tribologia di ceramici per applicazioni nell'energia e trasporti (G. de Portu)

#### **Bioceramici e compositi bio-ibridi intelligenti per la rigenerazione e l'ingegnerizzazione dei tessuti muscolo scheletrici- (A. Tampieri)**

- Processi di bio-mineralizzazione e sviluppo di compositi bio-ibridi nanostrutturati e funzionalizzati per una rapida risposta alle specifiche richieste in situ rigenerativo riparativo (M. Sandri)
- Processi biomorfici e sviluppo di ceramici biomimetici con alte performance bio-meccaniche per la realizzazione di sostituti biointegrabili (S. Sprio)

### Partecipazione a progetti di rilevanza nazionale:

#### **Progetto Bandiera-RitMare**

- Monitoraggio a bordo dello stato delle strutture e del loro livello di degrado (C. Galassi)
- Tecniche per la riduzione della resistenza d'attrito tramite rivestimenti nano strutturati con proprietà superidrofobiche e Sviluppo di pitture antifouling (M. Raimondo)
- Pannelli di compartimentazione, per abbattimento acustico e resistenza al fuoco (V. Medri, E. Landi)
- Materiali ceramici densi trasparenti e strutture porose funzionalizzate (L. Esposito, E. Landi)

#### **Progetto Premiale Medicina Personalizzata .**

Nanoparticelle magnetiche per diagnosi precoce (A. Tampieri)

#### **Progetto di Interesse-Invecchiamento**

nanomateriali medicina rigenerativa biomimesi (A. Tampieri)

#### **Progetto Bandiera-Fabbrica del Futuro**

- Surface Nano-structured Coating for Improved Performance of Piston Pumps (M. Raimondo)
- composite Nanofibres for Treatment of air and Water by an Industrial Conception of Electrospinning (A. Costa)
- Mechano-chemistry: geopolymer binders used in building construction (S. Gualtieri)

#### **Progetto Bandiera-NanoMax**

Progetto miRnano (A. Tampieri)

#### **Programma CLUSTER**

Intelligent Factory; Progetto Sustainable ManuFacturing, Ambito Intelligent Factory, OR4. Human Centered Manufacturing (C. Galassi, S. Gualtieri)

## Scientific Organization

### Structure

ISTEC belongs to the **CNR Department "Chemical Science and Materials Technologies," Director Dr. Luigi Ambrosio**

with the following Research Groups:

#### **Manufacturing, machining, characterization of ceramics and of structural/functional composites (D. Sciti)**

- Ultrarefractory (UHTC) ceramics and composites for aerospace and applications (F. Monteverde)
- Production and characterization of electroconductive and/or machinable ceramic composites (D. Sciti)
- Transparent ceramics for optical and electromagnetic applications (L. Esposito)
- Production and characterization of geopolymers and of biostructural ceramics (V. Medri)

#### **Innovative technologies for environment, building, industrial applications and cultural heritage (M. Dondi)**

- Processes and materials for electromechanic applications (C. Galassi)
- Nanotechnologies and colloidal processes (A. L. Costa)
- Innovative technologies for building industry (M. Raimondo)
- Archaeometry, diagnostics and technologies for the cultural heritage conservation (M. Macchiarola)

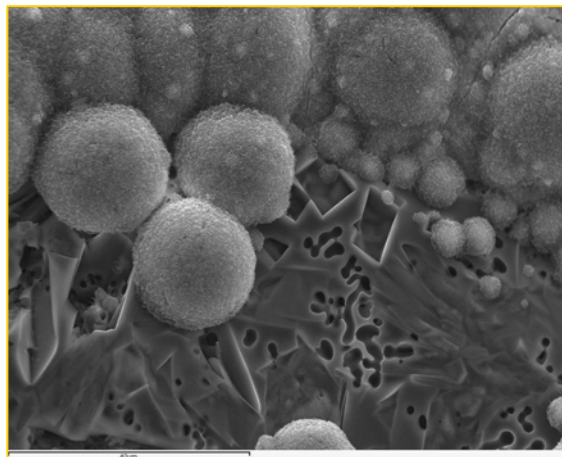
#### **Ceramic materials and technologies for energy applications (A. Sanson)**

- Ceramic materials and technologies for energy applications (E. Mercadelli)
- Development and mechanical and tribological characterization of ceramics for energy and transport applications (G. de Portu)

#### **Smart Bioceramics and bio-hybrid composites for tissue regeneration (A. Tampieri)**

- Bio-mineralization processes and development of nanostructured functionalized bio-hybrid composites for in situ regeneration (M. Sandri)
- Biomorphic processes and development of biomimetic ceramics with high biomechanical performance (S. Sprio)

### Participation in relevant national projects as from the list aside in the Italian version.





## European Projects



- BIO-INSPIRE:** PITN-GA-2013-607051 (2013-17) *Bio inspired bone regeneration*  
Ref. person: [simone.sprio@istec.cnr.it](mailto:simone.sprio@istec.cnr.it)



- SUN:** NMP4-LA-2013-604305 *Sustainable Nanotechnologies*  
Ref. person: [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)



- SMILEY:** NMP-2012-SMALL-6-310637 (2012-15) *Smart nano-structured devices hierarchically assembled by bio-mineralization processes.* Coord. ISTEC  
Ref. person: [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it) , [alessanda.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessanda.sanson@istec.cnr.it)



- LIGHT-TPS:** SPACE-2013-1 *Super light-weight thermal protection system for space application* Ref. person: [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)



- SANOWORK:** NMP4-SL-2012-280716 *Safe nano worker exposure scenarios.*  
Coord ISTEC Ref. person: [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)



- NANOREG:** contract n. 310584 (2012-15) *A common European approach to the regulatory testing of Manufactured Nanomaterials*  
Ref. person: [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)



- THE PIEZOINSTITUTE:** NMP-2011-CSA-5 (2010-14) *European Expertise Centre for Multifunctional and Integrated Piezoelectric Devices*  
Ref. person: [carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)



- SENERES:** REGPOT-2011-1 (2011-2014) *Sustainable Energy research and development center* Ref. person: [carmen.galassi@istec.cnr.it](mailto:carmen.galassi@istec.cnr.it)



- BFUNTEX:** NMP-201-2-3-3 *Networking of materials laboratories and innovation actors in various industrial sectors for product or process innovation*  
Ref. person: [anna.costa@istec.cnr.it](mailto:anna.costa@istec.cnr.it)



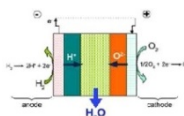
- OPHIS:** NMP-FP2466373-2 (2010-14) *Composite Phenotypic Triggers For Bone and Cartilage Repair.* Coord. ISTEC Ref. person: [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)



- E2PHEST2US:** ENERGY.2009.2.5.1 (2010-12) *Enhanced energy production of heat and electricity by a combined solar thermionic-thermoelectric unit system* Ref. person: [diletta.sciti@istec.cnr.it](mailto:diletta.sciti@istec.cnr.it)



- MAGISTER:** NMP3-LA-2008-214685 (2008-13) *Magnetic Scaffolds For In Vivo Tissue Engineering* Ref. person: [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)



- IDEAL-CELL:** ENERGY-2007-1.1-03 (2007-11) *Innovative dual membrane fuel cell*  
Ref. person: [alessanda.sanson@istec.cnr.it](mailto:alessanda.sanson@istec.cnr.it)



- TEM-PLANT:** NMP4-CT-2006-033277 (2008-11) *New bio-ceramization processes applied to vegetable hierarchical structures*  
Ref. person: [anna.tampieri@istec.cnr.it](mailto:anna.tampieri@istec.cnr.it)

## I Laboratori dell'ISTEC

Microscopia Elettronica

**Mauro Mazzocchi**

Diffrazione dei raggi X

**Chiara Zanelli**

Chimica

**Andrea Ruffini**

Caratterizzazione Meccanica

**Cesare Melandri**

Caratterizzazione Elettrica

**Carmen Galassi**

Analisi Termica

**Elisa Mercadelli**

Reologia, Tessitura

**Andreana Piancastelli**

Materie Prime-Formatura

**Claudio Capiani**

Tecnologie di Formatura

**Paola Pinasco**

Sintesi dei Biomateriali

**Monica Sandri**

Nano-Biomagnetismo

**Monica Sandri**

Beni Culturali

**Sabrina Gualtieri**

Nanotecnologie

**Anna Luisa Costa**

Tecnologie di Sinterizzazione

**Daniele Dalle Fabbriche**

Tecnologie Tradizionali

**Guia Guarini**

Taglio e lappatura

**Laura Silvestroni**

Processi Consolidamento  
a bassa temperatura

**Valentina Medri**

## Laboratories at ISTEC

*Electron Microscopy*

*X-Ray Diffraction*

*Chemistry*

*Mechanical Characterization*

*Electrical Characterization*

*Thermal Analysis*

*Rheology, texture analyses*

*Raw materials Forming*

*Forming Technologies*

*Synthesis of Biomaterials*

*Nano-biomagnetic materials*

*Cultural Heritage*

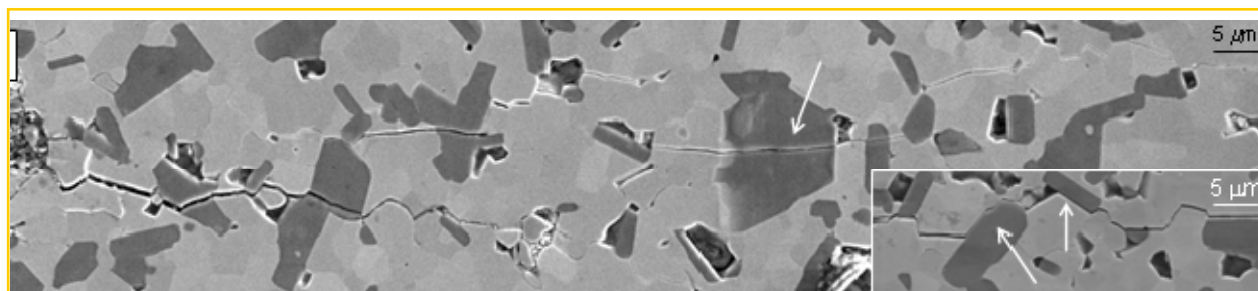
*Nanotechnologies*

*Sintering Technologies*

*Traditional Technologies*

*Machining and finishing*

*Low temperature densification processes*



## Principali ruoli amministrativi e servizi

## Main Roles of Administration and Services

Segretario Amministrativo	<b>Barbara Ciani</b>	<i>Chief Secretary</i>
Economo	<b>Annarita Valli</b>	<i>Financial Officer</i>
Segreteria di Direzione	<b>Milena Demarinis</b>	<i>Executive Secretary</i>
Collaboratore Amministrativo	<b>Francesco Montaleone</b>	<i>Collaborator of Administration</i>
Consulenza Giuridica e Normativa	<b>Liborio Capozzo</b>	<i>Legal and regulatory consultant</i>
Gestore qualità	<b>Valentina Biasini</b>	<i>Quality Manager</i>
Divulgazione, eventi promozionali, contatti con la stampa	<b>Valentina Biasini</b>	<i>Dissemination, promotional events, contacts with the press and media</i>
Referente sede Incubatore	<b>Anna Costa</b>	<i>Referring person for labs in the incubator</i>
Protezione-Prevenzione-Sicurezza	<b>Andrea Ruffini</b>	<i>Protection-Prevention-Safety</i>
Antincendio e Primo Soccorso	<b>Cesare Melandri</b>	<i>Fire-fighting and first aid Squad</i>
Biblioteca	<b>Paola Pinasco</b>	<i>Library</i>
Informatica	<b>Frederic Monteverde</b>	<i>Informatics</i>
Manutenzioni varie	<b>Francesco Montaleone</b>	<i>Routine maintenance</i>

## Istruzione e Formazione

ISTEC è coinvolto in iniziative di **alta formazione**, di **collaborazione** e di **sostegno all'istruzione** a tutti i livelli.

ISTEC svolge, anche attraverso propri programmi di assegnazione di borse di studio e di ricerca, attività di formazione nei corsi universitari di dottorato di ricerca, attività di alta formazione post-universitaria, di formazione permanente, continua e ricorrente e attività di formazione superiore non universitaria.

Dal 2001 ospita i laboratori del Corso di Laurea "Chimica e Tecnologie per l'Ambiente e per i Materiali - Curriculum: Materiali Tradizionali e Innovativi", facoltà di Chimica Industriale dell'Università di Bologna.

ISTEC stipula **Convenzioni** con Dipartimenti universitari distribuiti su tutto il territorio nazionale, favorisce l'**associatura** di docenti, accoglie studenti in tesi di vario livello e dottorandi.

Il Personale del ISTEC collabora abitualmente con l'Università e altri tipi di organizzazioni svolgendo attività di docenza su materie specialistiche per Corsi di Perfezionamento post-laurea, post-diploma. ISTEC offre la possibilità alle Aziende che lo desiderano di far svolgere al loro personale specifici corsi di **aggiornamento professionale e stages formativi** appositamente formulati sulle particolari esigenze formative e organizzative.

ISTEC promuove la diffusione della conoscenza anche con l'organizzazione di convegni, fiere, proprie iniziative editoriali.

## Education and Training

ISTEC is involved initiatives in **higher education**, **collaboration** and **support for training** at all levels.

ISTEC plays, also through its scholarship and research programs, education activities in PhD courses, advanced training postgraduate, continuing education and higher education training.

Since 2001 ISTEC hosts the laboratories of the course "Chemistry and Technology for the Environment and Materials - Curriculum: Traditional and Innovative Materials", Faculty of Industrial Chemistry – University of Bologna.

ISTEC has signed several agreements with university departments located throughout the country also with foreign Universities and Institutions, and favors the associating of University professors, welcomes students of different levels and doctoral theses.

The staff of ISTEC routinely collaborates with Universities and other organizations conducting educational lectures on specialized subjects of its competence with Postgraduate training courses.

ISTEC offers the possibility to companies, who wish to carry their staff, specific training courses and training workshops, specially formulated for the special educational and organizational needs.

ISTEC promotes the dissemination of knowledge in society through the organization of conferences, participation in fairs and its publications.

70

Studenti in tesi		2012-2013	Students under thesis
Anno	Nominativo	Università	Tutor
2012	Rossella Amadori	Chimica Industriale-Univ. Bologna	A. L. Costa
2011-12	Ignazio Allegretta	Dip. Scienze Terra e Geoambientali-Bari	S. Gualtieri
2012-14	Anna Baldini	Biotechnologie- Univ- Ferrara	A. Tampieri
2012	Riccardo Bendoni	Geologia-Univ. Napoli	A. Sanson
2012-14	Cecilia Correggia	Chimica Industriale –Univ. Bologna	M. Dondi
2012	Alessandra Femiano	Fac. Ingegneria, Univ. Bologna	S. Sprio
2011-12	Lorena Milandri	Chimica Industriale-Univ. Bologna	A. Sanson
2011-12	Elettra Papa	Chimica Industriale- Univ. Bologna	V. Medri
2011-12	Valentina Tonini	Chimica Industriale, Univ. Bologna	M. Dondi
2012	Roberta Verdicchio	Fac. Scienze geologiche, Univ. Napoli	M. Dondi
2012	Filippo Valorosi	Chimica Industriale, Univ. Bologna	V. Medri
2011-12	Mattia Valentini	Fac. Ingegneria Ambiente e Territorio, Univ. Parma	D. Gardini
2012	Luciana Zaccaria	Fac. Ingegneria, Univ. Bologna	M. Sandri
2013	Giuseppe Alessio Verni	Chimica Industriale, Univ. Bologna	E. Landi
2013	Eugenio Bartoletti	Fac. Ingegneria, UNiv. Bologna	C. Baldisserri
2012-2013	Valentina Baccon	Fac. Ingegneria Chimica, Univ. Bologna	D. Sciti
2012-2013	Antonio Costantin	Univ. Padova	D. Sciti
2013	Alessandro Graziani	Chimica Industriale, Univ. Bologna	A. Sanson
2013-2014	Valentina Maggio	Biotechnologie Molecolari, Univ. Bologna	M. Sandri
2013	Giacomo Meriggi	Univ. Bologna	D. Sciti
2013	Marika Monti	Chimica Industriale, Univ. Bologna	A. Sanson
2013	Arianna Rivalta	Chimica Industriale, Univ. Bologna	A. Sanson
2013	Michele Scaroni	Scienze Geologiche Univ. Ferrara	M. Dondi
2012-13	Iskra Shahaj	Scienze Geologiche Univ. Ferrara	M. Macchiarola
2013	Martina Tassinari	Biotechnologie, Univ. Bologna	A. Tampieri
2013	Luca Viale	Chimica Industriale, Univ. Bologna	A. L. Costa
2013-14	Tatiane De Mattos Amadio	Univ. Federal de Santa Catarina-Brasile	M. Dondi
2013-14	Simona Cepollaro	Biologie Mediche, Univ. Bologna	A. Tampieri
2013-14	Sara Riccobelli	Fac. Ingegneria Chimica, Univ. Bologna	F. Miccio, E. Landi
2014-15	Guilherme Gralik	Univ. Federal De Santa Catarina-Brasile	M. Dondi
Visitatori e ospiti temporanei		2012-2013	Visitors and temporary guests
	C. Ciomaga	Univ. A. Ioan Cuza, Iasi, Romania	C. Galassi
	E. Chicardi Augusto	Spanish National Res. Council Materials- Science Institute of Siville	V. Medri
	C. Fernandez	CSIC, Seville , Spain	M. Dondi
	C. Cuhna Dos Santos	Univ. Oporto, Portugal	S. Sprio
	M. Gromada	CEREL- Poland	C. Galassi
	J. Xue	Shanghai Inst. Of Ceramics, China	F. Monteverde
	A. Kozlova	Tomsk State Univ., Russia	E. Landi
	B. Bogdanska	Warsaw Univ. Technology, Poland	C. Galassi
	G. Castelli	Aeronautical Service, Italy	V. Medri
	C. D'Aries	Univ. La sapienza, Roma, Italy	M. Macchiarola
	R. Grohsmeyer	UMS, Missouri, USA	F. Monnteverde
	P. Pascaud	CNRS-UOT, Tolosa, Francia	A. Tampieri
	R. E. Stanculescu	Univ. Iasi, Romania	C. Galassi
	T. Yun	Shanghai Inst. Of Ceramics, China	F. Monteverde
	I. Turcan	Univ. A. Ioan Cuza, Iasi, Romania	C. Galassi
	A. Tluczek,	CEREL, Poland	D. Gardini



## Servizi alle imprese

L'**innovazione** tecnologica è la forza motrice capace di orientare le **Imprese** verso nuovi obiettivi, in termini di processo e di prodotto, consentendo il rinnovamento delle strutture industriali e la creazione di nuovi settori di attività economica.

La **Ricerca** è alla base di qualsiasi processo innovativo, ma il percorso che conduce dall'intuizione alla scoperta e da questa alle sue applicazioni, attraverso anche meccanismi di trasferimento tecnologico, non è mai del tutto riproducibile.

Per disporre in modo efficace della risorsa Innovazione è necessario creare strumenti che consentano una migliore identificazione delle innovazioni tecnologiche e il maggior numero di applicazioni possibili.

ISTEC ha ottenuto l'**Accreditamento Istituzionale** (Gestore Sistema Qualità: dott.ssa Valentina Biasini) delle strutture di ricerca industriale e trasferimento tecnologico presso la Regione Emilia-Romagna. Attraverso questo strumento di qualificazione, la Regione Emilia-Romagna attesta che le modalità organizzative e gestionali delle strutture di ricerca accreditate sono adeguate all'instaurazione di un rapporto sistematico con le Imprese e, in generale con gli utilizzatori dei risultati, in regime di controllo di qualità.

In virtù dell'Accreditamento ottenuto, ISTEC è entrato a far parte della RETE ALTA TECNOLOGIA della Regione Emilia Romagna e partecipa a diversi progetti congiunti con aziende nell'ambito del programma dei Tecnopoli promossi e finanziati dalla Regione Emilia-Romagna per incentivare l'innovazione e la crescita di competenze.



Ceramic leading edge

## Attività con le imprese

### Contratti

Con le aziende del settore manifatturiero interessate alla innovazione mediante applicazioni di materiali ceramici.

ISTEC intrattiene rapporti di collaborazione attraverso appositi contratti.

Ogni anno tali forme di collaborazione con le imprese produce rilevanti entrate quantificate in circa 500k€.

### Attività di conto terzi

Nel caso in cui le richieste da parte di aziende siano rivolte a specifiche esigenze di analisi e caratterizzazioni di competenza dell'Istituto, ISTEC risponde alle necessità in base ad un tariffario predisposto allo scopo.

Attività di questo tipo, generalmente di importo inferiore a circa 10k€, ammontano annualmente a 100k€.

## Range of services

*The technological innovation is the driving force capable of directing the business to new processes and products. **Research is the base of any innovative process**, but the ways that lead to perceive by intuitions, discover and then apply – the technology transfer mechanism- are rarely reproducible.*

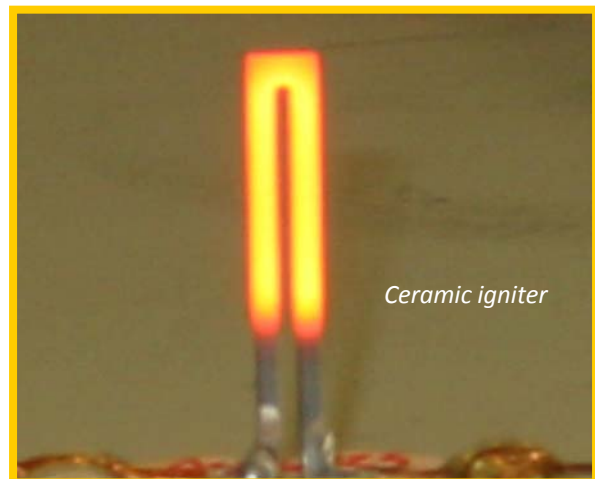
*Tools such as:*

- **joint projects, contracts and services to companies**
  - **access to financing**
  - **technological transfer day, meetings and exhibitions**
- that accompany the technological innovation to the highest number of possible end-users, are for ISTEC a must.*

### QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

*ISTEC has carried out the procedure to become a certified laboratory according to the Institutional Accreditation of industrial research laboratories in Emilia Romagna region (Ref. Dr. Valentina Biasini).*

*Due to the Accreditation, ISTEC entered in the High Technology Network of Emilia Romagna Region and participates in several Projects financed in the frame of the innovation programme based on the Tecnopoles*



Ceramic igniter

## Activities with enterprises

### Contracts

*ISTEC works on a contractual basis together with companies involved in manufacturing or industrial innovation through the application of ceramic materials.*

*Each year these type of contracts are about 20 and add up to an average amount over k€ 10 and a total income could be quantified at about 500k €.*

### Services to Industries

*In the case that companies' requests refer to specific requirements of analysis and characterizations of materials and products, ISTEC responds to their needs on the basis of a tariff prepared for the purpose.*

*Activities of this type, usually amounting to less than about 10 k€, are about 100 k€ annually.*

## Attività con finanziamento pubblico Collaborazioni in ambito nazionale e internazionale

Nel processo di crescita, stimolato negli anni dalla partecipazione a progetti nazionali ed internazionali e dal continuo confronto con la comunità scientifica, ISTEC ha rafforzato le proprie competenze scientifiche e tecnologiche consolidando una ricca ed articolata **Rete Relazionale e di Collaborazioni**.

Il percorso di sviluppo di ISTEC è stato accompagnato da iniziative promosse per stimolare e creare un'aggregazione territoriale di nuove infrastrutture in un luogo fisico ad elevata contiguità che comprendesse istituzioni dedite non solo alla ricerca ma anche al trasferimento tecnologico, alla formazione e cultura ceramica.

Le azioni, condivise e supportate dalle diverse amministrazioni coinvolte, hanno quindi fatto crescere in loco, nei pressi della sede dell'ISTEC diverse strutture dedicate a:

- ricerca e sviluppo in settori affini (Laboratori di Ricerca dell'**ENEA**);
- trasferimento di tecnologie ed erogazione di servizi alle Imprese (**Centuria-Innovazione Romagna, Parco Scientifico Tecnologico della Romagna**);
- analisi e certificazione per le imprese nei settori dei materiali da costruzione (Laboratorio **CertiMaC** co-fondato e co-partecipato da ENEA ed ISTEC);
- iniziative di **Spin-off**: IPECC S.r.l, Fin-ceramica Faenza (nata dal trasferimento tecnologico di attività di ricerca negli anni '90 e ora impresa S.p.A).

La ricchezza del tessuto culturale locale e l'esigenza di una maggiore integrazione fra i diversi attori ha stimolato l'interesse comune di interfacciarsi con un contesto industriale rivolto verso le nuove tecnologie, attivando uno strumento innovativo per lo sviluppo economico del territorio: il **Parco delle Arti e delle Scienze "Evangelista Torricelli" – Faventia**, attualmente costituito nella parte dedicata ad "incubatore".

La Regione Emilia Romagna ha incluso le strutture dedicate a Ricerca e Innovazione di Faenza, compreso ISTEC, tra le sedi di uno dei **Tecnopoli della Rete dell'Alta Tecnologia**, orientati allo sviluppo di infrastrutture innovative nei sistemi produttivi territoriali, al sostegno dell'insediamento di nuovi laboratori di ricerca e di nuove imprese derivanti dai risultati della ricerca.

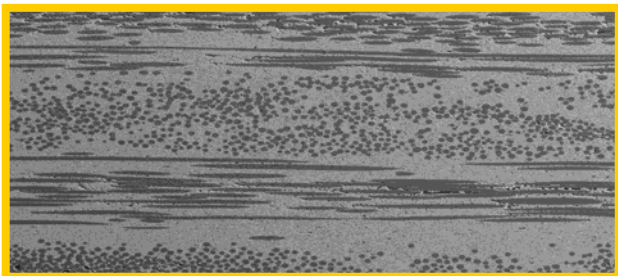
Fin dai primi anni '80, la presenza dell'ISTEC sullo scenario internazionale è cresciuta e si è intensificata. Attualmente sono attive numerose iniziative quali:

- partecipazione a Progetti Europei;
- programmi ministeriali (FIRB, PRIN, PON, Ind.2015, PNR-M);
- progetti regionali (Tecnopoli, PRRITT, Spinner, Poli);
- contratti di ricerca;
- accordi bilaterali;
- collaborazioni dirette.

Queste iniziative comportano uno stretto confronto tra ISTEC e numerosi Enti di Ricerca, Università ed Istituzioni internazionali.

I contatti a livello internazionale sono favoriti dalla presenza di ricercatori ISTEC all'interno di associazioni culturali quali la Società Ceramica italiana, la Società Ceramica Europea, la Società di Reologia, La Società Europea per i Biomateriali, il PiezoInstitute, il Network Europeo di istituti di Ricerca sui Materiali (ENMAT) e la partecipazione attiva in diverse piattaforme Europee e Nazionali

Cumulativamente le entrate da queste iniziative sono cresciute sensibilmente negli ultimi anni e nel 2012 e 2013 hanno raggiunto la somma di circa 2.500.000€ /anno.



## Public funded projects. National and international network

*During its growth, encouraged by involvement in international projects and dialog with the scientific community, ISTEC strengthened its scientific and technological expertises and consolidated a rich and well thought-out cooperation network.*

*In the local district ISTEC contributed to the development of different organisations involved in:*

- R&D in related sectors (ENEA Research Laboratory)
- Technology transfer ( Centuria Innovazione Romagna)
- Analysis and certification services (CertiMaC)
- Spin-off companies (IPECC S.r.l, Fin-ceramica Faenza)

*The need for higher integration among those players to face the common industrial contest led to the creation of the scientific park named Parco delle Arti e delle Scienze "Evangelista Torricelli" – Faventia that is regarded by the region as "technopole" and member of the regional High Technology Network.*

*Since the beginning of the 80's ISTEC has been increasingly active in the scientific international community exchanging ideas, expertise and abilities with research and industrial partners through:*

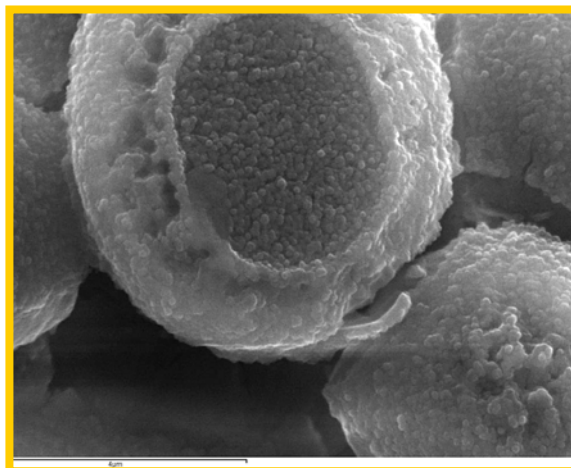
- participation in EU-funded projects
- participation in Ministry-funded projects
- research contracts
- bilateral projects
- research agreements

*In the past decade ISTEC took also part in several programmes, funded by the Italian Ministry of Foreign Affairs, supporting either joint labs ( an example the "Research Institute on Nanoscience" (RIN) funded in cooperation with ISTEC and the Kyoto Institute of Technology (KIT)) or cooperation and training actions to help underdeveloped countries like Vietnam, Indonesia, Brazil, Syria.*

*Nowadays ISTEC is still cooperating with many European partners at EU-funded projects, Cost Actions, bilateral projects and research agreements and has several projects with oversea Countries: USA, Brazil, China, Japan, Corea*

*The international visibility of ISTEC also benefited from the membership in Italian Ceramic Society, Italian Society of Reology, European Ceramic Society, International Ceramic Federation, European Society for Biomaterials, European Network of Materials Research Centres (ENMAT), Piezo Institute and from the activities of ISTEC researchers within the European or National Platforms.*

*The income form joint projects with industries, carried out with public support (EU, national and regional) increased in the recent years. In 2012 and 2013 the total amount was about 2.5 M€/ year.*



## Tecniche analitiche e Competenze

### Microstruttura e tessitura

Microscopia ottica  
Microscopia elettronica a scansione (SEM, ESEM)  
Superficie specifica  
Porosimetria  
Analisi granulometrica  
Diffrazione dei Rx (XRD)  
Microscopia elettronica a trasmissione in laboratori esterni

### Analisi delle Superfici

Rugosimetria

### Caratteristiche Chimico-Fisiche

Tensione superficiale ed angoli di contatto  
Spettroscopia ICP-AES  
Spettroscopia EDX  
Cromatografia ionica (HPLC)  
Spettrofotometria FT-IR  
Spettroscopia elettro-acustica (Potenziale Z)  
Dynamic light scattering (DLS)

### Caratterizzazione reologica di sistemi dispersi

Viscosità  
Limite di scorrimento  
Tempo-dipendenza (tissotropia)  
Viscoelasticità

### Proprietà meccaniche

Resistenza a flessione fino a 1500°C  
Durezza  
Nano-durezza  
Moduli di Young  
Tenacità a frattura fino a 1500°C

### Tribologia e usura

Usura e adesione  
Attrito  
Erosione

### Misure elettriche

Rigidità dielettrica  
Risonanza piezoelettrica  
Caratterizzazione dielettrica DC ed AC 100 Hz- 3.0 GHz  
Isteresi ferroelettrica  
Temperatura di Curie e costanti piezoelettriche  
Misure di spostamento  
Misure di sensitività acustica  
FORC (First order reversal curves)

### Analisi termiche

### Bio-compatibilità e citotossicità

### Caratterizzazione Tecnologica

### Taglio e finitura superficiale

### Ossidazione e corrosione

### Permeabilità e Suscettività magnetica

## Analytical techniques & Expertises

### Microstructure and texture

Optical Microscopy  
Scanning Electron Microscopy (SEM- ESEM)  
Specific Surface area  
Porosimetry  
Granulometric analysis  
X-Ray Diffraction (XRD)  
Transmission electron microscopy in external labs

### Surface analyses

Roughness measurement

### Chemico-physical characteristics

Surface tension and contact angle  
Optical emission spectroscopy (ICP-OES)  
Energy dispersive spectroscopy (EDX)  
Ion chromatography (HPLC)  
FT-IR spectroscopy  
Electro-acoustic spectroscopy (Z-potential)  
Dynamic light scattering (DLS)

### Rheology of disperse systems

Viscosity  
yield stress  
Time-dependency (thixotropy)  
Viscoelasticity

### Mechanical properties

Flexural strength up to 1500°C  
Hardness  
Nano-hardness  
Young's modules  
Fracture toughness up to 1500°C

### Tribology and wear

Wear and adhesion properties analysis  
Friction  
Erosion

### Electrical characterization

Dielectric strength  
Piezoelectric resonance  
Dielectric characterization DC and AC 100 Hz-3.0 GHz  
Ferroelectric hysteresis  
Curie temperature and piezoelectric constants  
Displacement measurements  
Acoustic sensitivity  
FORC (First order reversal curves)

### Thermal Analysis

### Cytotoxicity and biocompatibility

### Technological characterization of ceramics

### Cutting and surface finishing

### Oxidation and corrosion of ceramics

### Magnetic permeability and susceptibility

**Processi**

**TRATTAMENTO POLVERI, REAZIONI E SINTESI**

- Atomizzazione via spray di nano-sols e soluzioni di precursori ceramici
- Treatments delle materie prime "polveri"
- Reazioni in microreattore
- Sintesi in soluzione di polveri ceramiche
- Trattamento colloidale delle polveri

**FORMATURE SEMPLICI E COMPLESSE**

- Pressatura lineare ed isostatica a freddo
- Estrusione
- Colaggio in stampi di gesso
- Colaggio su nastro
- Foaming
- Freeze Casting
- Gel-casting

**RIVESTIMENTI**

- Deposizione elettroforetica di film ceramici
- Deposizione via sol-gel di nano-rivestimenti
- Rivestimenti per dip-coating
- Rivestimento a spruzzo
- Serigrafia

**GIUNZIONI**

- Giunzione stato solido
- Giunzione diretta
- Brasatura
- Giunzione mediante vetri

**TRATTAMENTI TERMICI E SINTERIZZAZIONE**

(vedi elenco strumentazioni)

**Processes**

**POWDER PROCESSING, REACTIONS AND SYNTHESIS**

- Spray-drying: drying method via spray of nano suspensions or precursor solution*
- Colloidal processing of powders*
- Temperature and pressure controlled microreactor*
- Wet chemical synthesis of ceramic powders*
- Treatments of raw powders*

**FORMING TECHNIQUES**

- Screen printing*
- Freeze Casting*
- Gel-casting*
- Linear and cold isostatic pressing*
- Extrusion*
- Slip Casting in gypsum moulds*
- Tape casting*

**COATINGS**

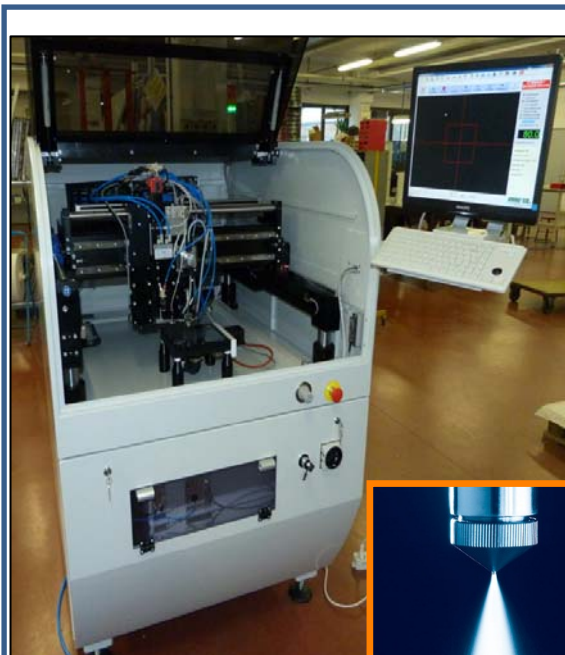
- Ceramic Films by Electrophoretic Deposition*
- Nanostructured Ceramic coatings via Sol-gel*
- Dip Coating*
- Spraying*
- Screen Printing*

**JOINING**

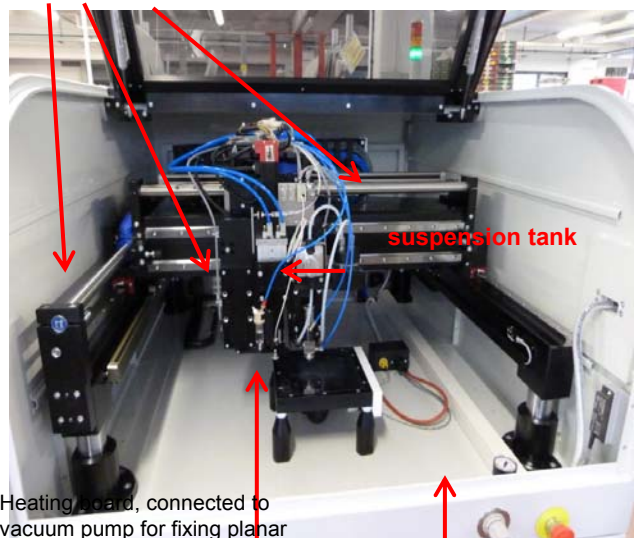
- Solid state bonding*
- Direct bonding*
- Brazing*
- Joining by glass interlayers*

**THERMAL TREATMENTS AND SINTERING OF BULK CERAMICS**

(see list of instruments)



movable axes (x,y,z)



Heating board, connected to vacuum pump for fixing planar substrate prior to spraying

gas carrier pressure regulator

**XCel Spray per la deposizione di rivestimenti funzionali**

**Strumentazioni****Sintesi e Trattamento di polveri**

Mulini per polveri e colloidali, micronizzatore, frantoio a maccelle, attritore, essiccatore a spruzzo, giragiarre, miscelatori, sonda ad ultrasuoni, liofilizzatore, stufe, evaporatore rotante, atomizzatore, macchina serigrafica.

**Tecnologie di formatura**

Estrusore a freddo, collaggio in stampi di gesso, banco di colatura su nastro, presse lineari, pressa isostatica a freddo.

**Trattamenti termici**

Forni in aria fino a 1700°C, forni speciali in atmosfera inerte fino a 2150°C e forno pulito in alto vuoto fino a 1800°C, pressa lineare a caldo sotto vuoto, pressa uniaassiale a caldo, forno tubolare fino a 1600°C in atmosfera riducente.

**Caratterizzazione microstrutturale e chimico-fisica**

Microscopi ottici e stereoscopici, microscopio elettronico a scansione con microanalizzatore a dispersione di energia, diffrattometri RX con camera calda fino a 1500°C, spettrometro ICP-OES, sedimentografi, porosimetro a mercurio, misuratori di superficie specifica, misuratore di permeabilità, picnometro.

**Termoanalisi**

Microscopio riscaldante, analisi termica ponderale e differenziale fino a 1600°C, analisi dilatometrica fino a 1600°C.

**Reologia e studio sistemi dispersi**

Reometro rotazionale, viscosimetro Brookfield, tensiometro ottico, dynamic light scattering (DLS), spettroscopia elettroacustica.

**Proprietà meccaniche e tribologiche**

Macchine universali per la misura della resistenza alla flessione e alla compressione a temperatura ambiente fino a 1500°C in aria ed atmosfera protetta, macchine per la misura della fatica statica fino a 1500°C, apparati per la valutazione della tenacità alla frattura, strumentazione per la misura del modulo di Young dinamico, micro e macro-durometri, nanoindentatore, tribometro, apparato per la determinazione della resistenza all'urto termico. Analizzatore meccanico dinamico

**Proprietà elettriche**

Polarizzatore ad alta tensione (30 kV), Analizzatore di Impedenza (100 Hz- 3.0 GHz), Interferometro Laser, d33 meter, Strumento per acquisizione dati, Sistema integrato di misura multifunzione (multimetro, frequenzimetro, generatore di funzioni e alimentatore stabilizzato), Camera raffreddante / riscaldante, (-65 ÷ +200 °C)

**Rivestimenti e films**

Serigrafia, deposizione elettroforetica, rivestimento a spruzzo.

**Scientific instruments****Synthesis and processing of powders**

Ball mill, vibrating mill, planetary mill, attrition mill, mixing rollers, ultrasonic milling, spray drier, freeze drier, mixer with 3D motion, rotary evaporator, vibration screening systems, ultrasonic probe dispersion equipment, electric heaters, atomiser.

**Forming technologies**

Extruder, slip casting, tape caster, linear hydraulic presses, cold isostatic press.

**Sintering technologies**

Furnaces in air up to 1700°C, furnaces in vacuum or controlled atmosphere up to 2150°C, hot pressing in vacuum, tubular furnace for thermal treatments up to 1600°C in reducing atmosphere.

**Microstructural, physical and chemical characterisation**

Optical and stereo microscopes, scanning electron microscope SEM and ESEM with energy dispersive spectrometer (EDS), X-ray diffractometers (high temperature device), plasma optical emission spectrometer (ICP-OES), particle size analysers, mercury porosimeter, surface area facility, gas permeability equipment, helium pycnometer.

**Thermoanalysis**

Heating microscope, simultaneous thermal analyzers, linear thermodilatometric analyzer.

**Rheology and study of dispersed systems**

Rotational rheometer, Brookfield viscometer, tensiometer optical, dynamic light scattering (DLS), electroacoustic spectroscopy

**Mechanical and tribological characterisation**

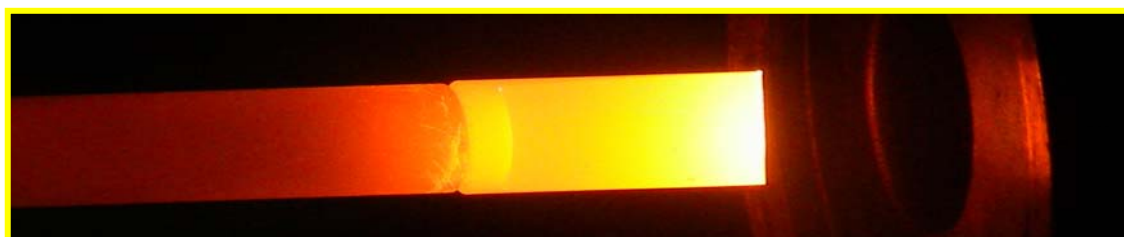
Universal servo-mechanical testing machines for the measurement of flexural or compressive strength from room temperature up to 1500°C in air or controlled atmosphere, systems for the measurement of static fatigue up to 1500°C, fracture toughness, elastic constants, micro and macrodurometers, nano-indenter, tribometer (disk-on-pin configuration), facility for measurement of thermal impact resistance, contact stylus type instrument for the determination of surface roughness, Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

**Electrical characterisation**

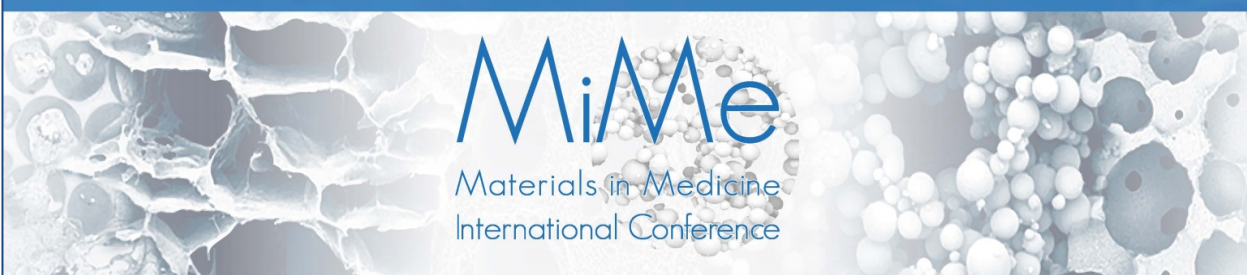
High voltage (30 kV) poling equipment, impedance analyzer (100 Hz-3.0 GHz), Laser Interferometer, d33 meter, instrument for data acquisition, integrated system for multifunction measurement (multimeter, frequency meter, function generator and stabilized power supply), Cooling / heating, (-65 ÷ +200 °C) chamber.

**Coatings and films**

Screen Printing, Electrophoretic Deposition, Spray Coating



PROMOTED AND ORGANIZED BY ISTEC-CNR



# Materials in Medicine

INTERNATIONAL CONFERENCE • 1<sup>ST</sup> EDITION

## OCTOBER 8 – 11 2013, FAENZA

Congress Center *Faventia Sales* (via San Giovanni Bosco, 1)

### MiMe - Main Conference

The mission of the conference is to highlight the central position of the Biomaterial discipline in fostering the new sectors of regenerative medicine, personalized therapy and cancer diagnosis.

Chair: **Anna Tampieri** *ISTEC-CNR, Faenza, Italy*

Co-chairs: **Ennio Tasciotti** *HMRI, Houston, USA* · **Maurilio Marcacci** *IOR, Bologna, Italy*

#### SATELLITE SYMPOSIUM: MNBA - MAGNETIC NANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Chairs: **Valentin Alek Dedju** *ISMN-CNR, Bologna, Italy* · **John Michael D. Coey** *Trinity College, Dublin, Ireland*

### Additional Special Events

#### EUROPEAN COMMISSION FORUM

Forum on projects financed by EU on the topics of the congress.

Chair: **Ezio Andreta**, *President APRE, Italy*

Co-chairs: **Martina De Sole**, *National Contact Point MNP, APRE, Italy*  
**Serena Borgna**, *National Contact Point MNP, APRE, Italy*

#### RESEARCH IDEAS FOR THE MARKET

Proposals of new start up, contest and prize.

Chair: **Manuela Arata**, *Director, Office for the Promotion of Collaborations, CNR, Italy*

Co-chairs: **Simone Ferriani**, *University of Bologna, Italy*  
**Lorenzo Pradella**, *Managing Director, Zcube SRL, Italy*  
**Francesca Natali**, *Fund Director, Zernike Meta Ventures SPA, Italy*  
**Cristina Biggi**, *Patent Attorney, BUGNION SPA - Intellectual Property, Milano, Italy*

#### SPECIAL SESSION DEDICATED TO COMPANIES (ORGANIZED AND SUPPORTED BY FINCERAMICA SPA)

Chondral and osteochondral regeneration. From bench to bed and back: how research and clinics advance patient care.

Chair: **Maurilio Marcacci**, *IOR Bologna, Italy*

Co-Chairs: **Renè Verdonk**, *Dep. Of Orthopaedic surgery, Ghent University Hospital, Belgium*  
**Bradley K. Weiner**, *The Methodist Hospital Research Institute (HMRI), Houston, USA*

#### YOUNG RESEARCHER COMPETITION DEDICATED TO PHD STUDENTS AND EARLY STAGE POST-DOCS

Best lecture Award in memory of Dr. Gian Nicola Babini. Best poster Award. Best proposal for an Innovative Project in the field of materials for medicine and related issues on biotechnology and biomedicine.

Chairs: **Antoni P. Tomsia**, *Lawrence Berkeley National Laboratory, USA*  
**Alessandro Sannino**, *University of Salento, Italy*



CONFERENCE SECRETARIAT:



<http://mime.centuria-agenzia.it>

**5<sup>th</sup> WORKSHOP**  
**“MOSAIC: ARCHAEOLOGY,**  
**TECHNOLOGY**  
**AND CONSERVATION”**  
*Faenza, 15<sup>th</sup> – 16<sup>th</sup> November 2012*



**6<sup>th</sup> WORKSHOP**  
**“MOSAIC: ARCHAEOLOGY,**  
**TECHNOLOGY**  
**AND CONSERVATION”**  
*Faenza, 21<sup>st</sup> – 22<sup>nd</sup> November 2013*



77

Il workshop annuale “Mosaic: archaeometry, technology and conservation”, appuntamento internazionale ormai fisso per quanti “lavorano” a vario titolo sul mosaico sia antico che moderno e contemporaneo (archeometri, conservation scientists, restauratori, architetti, archeologi, artisti, ecc.), è organizzato dal Gruppo Beni Culturali del CNR-ISTEC di Faenza e si tiene presso l’aula magna “Paolo Bisogno” dell’ISTEC (via Granarolo 64, 48018 Faenza, RA).  
 Lingue ufficiali del workshop: Italiano e Inglese.

Tutte le presentazioni sono ad invito da 20 minuti ciascuna + 10 minuti di discussione.

Il workshop riserva ampio spazio anche al mosaico moderno e contemporaneo: conservazione e aspetti tecnologici (materiali utilizzati, tecniche esecutive, ecc.).

Il workshop, come da tradizione, predilige presentazioni da parte di giovani ricercatori/restauratori italiani e stranieri.

Per la vastità e per la qualità dei temi che vengono presentati e discussi, l’appuntamento faentino rappresenta una sicura opportunità di crescita professionale soprattutto per le giovani generazioni, che si apprestano o che hanno da poco cominciato a vivere nel meraviglioso mondo del mosaico.

*Dr. Michele Macchiarola*

Chairman, Mosaic Workshop



## **WG3 Conference** *COST MPO904 Action*

*„Single-and multiphase ferroics and multiferroics with restricted geometries”*

### **Recent advances in ferro/piezoelectric and multiferroic-based composites**

*Final announcement*

**Faenza, 22-23 April 2013**



A. Sangiorgi "Bella Signora" Maiolica (Detail)

Invited speakers:

**Dr. Vincenzo Buscaglia , CNR-IENI, Genova, Italy**

**Prof. Pedro Martins, University of Minho, Braga, Portugal**

**Dr. Silvia Picozzi, CNR-SPIN L'Aquila, Italy**

**Prof. Christian Brosseau, Lab-STICC, Brest, France**

**Prof. Burc Misirlioglu, Sabanci University, Tuzla, Istanbul, Turkey**

**Chairs: Carmen Galassi, Liliana Mitoseriu**

Conference place:

All the conference sessions, coffee breaks and lunch will be organized at  
ISTEC, Via Granarolo, 64, I-48018 Faenza (ITALY) <http://www.istec.cnr.it>

Conference Site: <http://www.istec.cnr.it/index.php/prossimi-eventi/535-recent-advances-in-ferropiezoelectric-and-multiferroic-based-composites-it>

Organizers:

**Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici, Faenza**

**Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy**

**Universitatea Alexandru Ioan Cuza Iasi, Romania**

