

Centro di Ricerca Interdipartimentale in Materiali Avanzati e Dispositivi - Advanced Materials and DEvices Center (MADE)

RELAZIONE di ATTIVITÀ 2018

Al “Centro di Ricerca Interdipartimentale in Materiali Avanzati e Dispositivi - Advanced Materials and Devices” – MADE afferiscono ricercatori dai Dipartimenti di Fisica, di Chimica e di Ingegneria Industriale e dell’Informazione (ex Centro CILSOMAF) e del Dipartimento di Scienze del Farmaco e di Ingegneria Civile e Architettura dal 2015.

Il Centro MADE durante l’anno 2018 ha continuato e ampliato gli studi, sia fondamentali sia applicativi, di materiali e dispositivi innovativi nei seguenti campi di ricerca:

- Nuove tecnologie, metodi di sintesi e di caratterizzazione
- Elettronica e Fotonica
- Energia e Ambiente
- Materia soffice, Biomateriali, Materiali per nanomedicina
- Micro- e nano-materiali funzionali;

favorendo un utilizzo razionale ed efficace delle proprie risorse, sia umane sia strumentali. Esso ha inoltre incrementato le collaborazioni fra ricercatori con competenze complementari per un migliore inserimento in progetti di ricerca e collaborazioni anche con enti di ricerca, pubblici e privati, e con imprese nei settori di ricerca d’interesse.

Nel seguito son riassunti i risultati ottenuti nell’ambito delle principali linee di ricerca e le prospettive attuali, suddivisi per Dipartimento di afferenza dei ricercatori maggiormente coinvolti, e in allegato le pubblicazioni nel 2018 in riviste internazionali ad essi riferite.

DIPARTIMENTO DI FISICA

Nel corso del 2018 l’attività ha riguardato principalmente le seguenti linee di ricerca:

A. Studio di materiali ottici e fotonici, in particolare:

- determinazione delle proprietà strutturali, ottiche, elettriche di film polimerici e a base di carbonio, ottenuti da soluzione, sputtering e deposizione da fase vapore; studio della risposta ottica di composti polimerici di nuova sintesi e di riflettori di Bragg polimerici ad elevato contrasto dielettrico per controllo/confinamento di radiazione nel visibile-NIR (*coll. D. Comoretto, Dip. Chim. Industriale, Univ. Genova, Max Planck Inst. Potsdam*)
- proprietà ottiche e morfologiche di perovskiti ibride organiche-inorganiche sia in film sottili sia a contenuto inferiore di Pb, per sostituzione con Sn, con soglia di assorbimento ottico modulabile verso il NIR, maggiore stabilità nel tempo; risposta ottica di nanocristalli in soluzione con emissione nel visibile (*coll. L. Malavasi, Dip. Chimica*)
- studio, caratterizzazione e simulazione di materiali polimerici e nanocompositi e di dispositivi per *energy harvesting* da vibrazioni a bassa frequenza (*coll. P. Mustarelli, Dip. Chimica*); su questa linea è attivato in MADE dall’inizio 2019 un progetto a 30 mesi, finanziato dall’Avviso congiunto di Fondazione Cariplo e Regione Lombardia sul tema dei Materiali Avanzati
- studio, caratterizzazione e simulazione di nanostrutture in silicio organizzate in sistemi periodici e quasi-periodici per la manipolazione delle proprietà di scattering (*coll. L. Dal Negro, Boston University*)
- caratterizzazione e ottimizzazione di materiali a base di Si e Ge per celle solari tandem, e di coating in ossidi nanostrutturati al fine di rendere più efficiente l’assorbimento di radiazione nella regione spettrale visibile-NIR (*coll. RSE s.r.l. Piacenza*).

B. Materiali sensibili e funzionali per diagnostica di analiti in vapore e in soluzione. Sono state studiate, sia sperimentalmente sia teoricamente, differenti piattaforme:

- fotoniche: è proseguito lo studio di modi di superficie (BSW) e amplificazione di fluorescenza in strutture 1D (riflettori di Bragg) polimeriche, in alcuni casi nanocristalline porose;

- strutture plasmoniche: reticoli 2D ordinati di nanostrutture ibride metallo/polimero (coll. PLASMORE s.r.l.), da utilizzare per analiti in soluzione, grazie alla estrema sensibilità di risonanze plasmoniche localizzate ed estese (SPR) alla variazione di indice di rifrazione indotta dal mezzo dielettrico a contatto con la superficie. Prosegue lo studio delle proprietà offerte da tali strutture su due linee, una prettamente applicativa sulla detezione di contaminanti nel latte (Horizon2020: MOLOKO); l'altra più fondamentale in relazione ad una ricerca su metamateriali per applicazioni sensoristiche (Horizon2020: NOCTURNO)

- strutture ibride fotoniche-plasmoniche: l'accoppiamento di riflettori di Bragg, polimerici e in silicio poroso, su strutture plasmoniche induce la creazione di modi misti localizzati alle interfacce. Tali strutture, sviluppate in collaborazione con l'Universidad Autonoma de Madrid e l'università di Genova, trovano interesse per le peculiari proprietà di confinamento dei modi e di amplificazione ottica. Dallo studio sembrano emergere interessanti effetti sulla fluorescenza.

C. Studio Raman-SERS di micro- e nano-strutture, in particolare:

1) proprietà strutturali, ottiche ed elettroniche di ossidi funzionali: la ricerca ha riguardato lo studio di ossidi funzionali, quali il diossido di Titanio, la ferrite di Zinco, il niobato di Ferro

2) studio dell'effetto SERS da superfici con nano-oggetti di metalli nobili (Ag, Au) realizzati presso il *Laboratorio InLab* del Dip. di Chimica al variare dei metodi di preparazione, della funzionalizzazione delle nanoparticelle e delle molecole utilizzate come Raman reporter. Gli esperimenti hanno riguardato anche studi SERS su materiale cellulare.

Nel corso del 2019, è prevista la continuazione di tutte le linee suddette, ed il loro ampliamento grazie ai progetti attivati (EU, FC/RL e PRIN) e alle crescenti collaborazioni di ricerca e industriali in corso. Le pubblicazioni 2018 relative alle tematiche sono citate in allegato, altre in corso di stampa verranno allegate il prossimo anno.

DIPARTIMENTO DI CHIMICA

A. Elettrochimica e energetica (ref. P. Mustarelli, E. Quartarone)

Nel corso del 2018 il gruppo di elettrochimica ed energetica della Sezione di Chimica Fisica (GREENMAT) si è occupato delle seguenti linee di ricerca:

1) messa a punto di celle a combustibile microbiche e sistemi misti (bioreattori elettrochimici) per la crescita di biomasse vegetali (5);

2) studi teorici e sperimentali di materiali catodici per batterie al litio (1, 4);

3) sintesi e caratterizzazione di elettroliti liquidi e polimerici a base di liquidi ionici per applicazioni in batterie litio-ione e alluminio-ione (2);

4) studi sperimentali su materiali compositi per *energy harvesting* da vibrazioni a bassa frequenza (3).

I risultati della attività scientifica sono riportati in cinque pubblicazioni su riviste internazionali con revisori, elencate e numerate (x) nel seguito.

B. Materiali Avanzati per Clean Energy (ref. L. Malavasi)

Nel corso del 2018 il gruppo di Chimica dei materiali della Sezione di Chimica Fisica si è occupato, tra gli altri argomenti, delle seguenti linee di ricerca:

1) sintesi e caratterizzazione di perovskiti ibride per applicazioni fotovoltaiche in forma di bulk, nanocristalli e film sottili. In particolare, sono state progettate e sintetizzate nuove fasi di perovskiti ibride al fine di modulare le proprietà ottiche e strutturali variando la natura dei cationi presenti e si è messo a punto un approccio innovativo di crescita dei film mediante RF-magnetron sputtering

2) catalizzatori a base di g-C₃N₄ per sviluppo di idrogeno e per la degradazione foto-assistita di inquinanti; ci si è focalizzati sul C₃N₄ grafittico che rappresenta un eccellente catalizzatore con assorbimento nel visibile. Di tale materiale si è intrapreso uno studio sistematico per valutare gli effetti dei processi di sintesi sulla fotogenerazione di idrogeno e si sono sviluppati nuovi composti

ossidati che hanno mostrato un' aumentata fotogenerazione di idrogeno rispetto al campione non ossidato

3) nuovi conduttori per ioni ossigeno. Sono stati sintetizzati nuovissimi conduttori per ioni ossigeno a base di Nb e se ne è intrapreso uno studio strutturale e di correlazione con le proprietà di trasporto. I risultati della attività scientifica sono riportati in sette pubblicazioni su riviste internazionali con revisori.

C. Nanochimica in ambito biomedico (ref. P. Pallavicini)

Le ricerche condotte dal gruppo di nanochimica della sezione di Chimica Generale (P. Pallavicini, A. Taglietti, G. Dacarro, Lab. *In-Lab*) nell'anno 2018 hanno riguardato le seguenti tematiche:

i) produzione di film contenenti nanoparticelle (np) di oro, argento, e blu di prussia, con effetto fototermico per applicazioni antibatteriche intrinseche o on-demand. In questo filone di ricerca np con forti bande di assorbimento nel visibile/vicino IR sono incorporate (con un processo di sintesi che parte da loro soluzioni acquose) in un film solido. Nello stesso film possono essere incorporate anche np con effetto antibatterico chimico e meccanico, come quelle di argento. Abbiamo dunque utilizzato per la prima tipologia np cubiche di blu di prussia, sintetizzate con modificazione di approcci descritti in letteratura, e np Au asimmetriche (nanostelle), preparate con le sintesi seed-growth messe a punto nel nostro laboratorio. Le np di Ag sono preparate invece in pectina, con una sintesi messa a punto nei nostri laboratori negli ultimi due anni. I film sono stati formati con PDMS o con PVA. In quest'ultimo caso la reticolazione del polivinilalcol è stata ottenuta con reticolanti aggiunti o tramite funzioni con cui sono ricoperte le nanostelle d'oro. I materiali ottenuti sono stati testati con ottimi risultati per il loro effetto antibatterico (sia microbica che antiadesivo), sia fototermico che intrinseco che sinergico, e, nel caso dei film di PVA, anche per le loro capacità rigenerative (su modelli con colonie di fibroblasti in vitro);

ii) produzione e stampa di nano-inchiostri con responso fototermico. In questa nuova direzione di ricerca si sono preparati inchiostri contenenti np di oro, CuS, blu di prussia, adatti a essere stampati con stampanti inkjet. Tutte le np prescelte hanno un responso fototermico, cioè un loro irraggiamento sui propri massimi di assorbimento conduce a un aumento locale della temperatura. L'ottenimento di loro pattern stampati è stato utilizzato sia per fabbricare superfici in grado di scaldare e scaldare/rilasciare specie molecolari (in questo caso con applicazioni in campo dei dispositivi medici per curare localmente, sulla pelle, infiammazioni, tumori, infezioni), sia per introdurre un nuovo modo di scrittura criptata, per informazioni sicure. In questo secondo caso, sono state utilizzate np a stella d'oro, di cui si è curata particolarmente la ricopertura polimerica per evitare la perdita, una volta stampate, della forma a picco delle loro bande di assorbimento NIR, la cui strettezza è necessaria per un'interrogazione della stampata con laser infrarosso e una risposta termica leggibile.

Le pubblicazioni 2018 relative sono citate in allegato. Gli sviluppi già in corso per il 2019 riguardano: applicazione dei materiali e delle tecniche per ottenimento di materiali bulk flessibili antibatterici e antifungo a smart packaging attivo per la conservazione di alimenti; preparazione di film per il wound healing con effetto antibatterico intrinseco e fototermico, e con possibilità di rilascio di ulteriori specie molecolari, utilizzando np fototermiche di più facile ed economica preparazione; inchiostri fototermici per informazioni sicure con lunghezza d'onda di interrogazione nel visibile.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL' INFORMAZIONE

L'attività nel campo della microscopia nonlineare si è concentrata nel 2018 su aspetti applicativi, in particolare in campo istologico. Sono stati condotti studi preliminari su vari campioni che hanno evidenziato notevoli possibilità di osservazione di tessuti in tre dimensioni. In futuro si proseguirà quindi alla definizione di una procedura ben definita per la loro caratterizzazione.

Nell'ambito della caratterizzazione di materiali per l'ottica nonlineare, si è evidenziato come una struttura disordinata del cristallo a livello microscopico, ma ordinata a livello mesoscopico, possa influenzare i processi nonlineari ed eventualmente essere sfruttata dal punto di vista applicativo. I

risultati ottenuti sono solo ora in fase di pubblicazione in quanto, non avendo riscontri in letteratura, hanno richiesto una lunga fase di studio che ha portato all'introduzione di nuovi modelli interpretativi. Un aspetto particolarmente interessante dal punto di vista pratico, su cui l'attività si concentrerà nel prossimo anno, si è dimostrato essere quello della possibilità di controllare le caratteristiche dell'emissione nonlineare attraverso l'applicazione di un campo elettrico al cristallo. Nell'ambito della micro-optofluidica l'attività si è concentrata principalmente su due obiettivi: la realizzazione di un sistema ottico per la microreologia, e lo studio di configurazioni microfluidiche che utilizzino le forze acustiche per la separazione controllata e la selezione di campioni in sospensione. Riguardo il primo filone è stata dimostrata la possibilità di misurare la transizione di comportamento da fluido Newtoniano a non-Newtoniano, al variare della temperatura, all'interno di un sistema modello composto da micro filamenti di DNA sospesi in acqua. Questo ha permesso di studiare con alta precisione i fenomeni che avvengono durante la formazione della rete di DNA, fornendo i riscontri sperimentali allo sviluppo di un accurato modello teorico. L'attività dedicata allo studio della attuazione acustica in sistemi microfluidici ha invece portato ad un doppio risultato: da un lato sono state evidenziate alcune regole base per la progettazione di un sistema di separazione efficiente, e successivamente si è analizzato, con un approccio combinato teorico e numerico, l'impatto delle condizioni di inserzione del campione nel sistema. Questo ultimo aspetto, di fondamentale importanza, non era infatti mai stato analizzato in dettaglio in precedenza, e i diversi studi si basavano semplicemente su considerazioni intuitive sull'argomento. Le pubblicazioni 2018 relative a queste tematiche sono citate in allegato.

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DEL FARMACO

Da sempre l'attività di ricerca svolta presso il Dipartimento di Scienze del Farmaco si connota per la sua interdisciplinarietà, coinvolgendo sia gruppi di ricerca afferenti ad SSD diversi presenti nel Dipartimento, in particolare CHIM, BIO e MED, sia gruppi di ricerca afferenti ad altri Dipartimenti (Chimica e Fisica) dell'Ateneo. Per il futuro verranno rafforzate ed aumentate le suddette collaborazioni, rivolte alla realizzazione e caratterizzazione di materiali e dispositivi innovativi, con particolare riferimento a: Biomateriali, Materiali per nanomedicina, Micro- e nano-materiali funzionali.

In tali ambiti si inserisce l'attività di ricerca attinente alle finalità del MADE svolta nel 2018 presso il Dipartimento; nello specifico essa ha riguardato le seguenti tematiche:

1. sistemi mucoadesivi e termogelificabili a base di biopolimeri per il rilascio di farmaci o di emoderivati per la riparazione tissutale;
2. micro e nano- sistemi per il rilascio di farmaci e per applicazioni in ambito biomedico;
3. allestimento e caratterizzazione di *scaffolds* per medicina rigenerativa;
4. allestimento e/o impiego di "smart excipients" per applicazioni in ambito biomedico.

Le pubblicazioni 2018 relative alle suddette tematiche sono citate in allegato.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

Di seguito si riporta la descrizione delle attività nei campi di ricerca d'interesse, specificandone le collaborazioni; le relative pubblicazioni 2018 son riportate in allegato.

Caratterizzazione meccanica e costitutiva di tessuti biologici (S. Morganti , F. Auricchio, Comp-Mech Group). Questa attività ha l'obiettivo di determinare la risposta meccanica di tessuti biologici molli al fine di fornire dati sperimentali su cui calibrare simulazioni numeriche a supporto del design di dispositivi biomedicali o del planning chirurgico (*coll. IRCCS San Matteo Pavia*).

Modelli costitutivi dei materiali ed applicazione di leghe a memoria di forma (SMA) per dispositivi biomedicali e non (G. Scalet, F.Auricchio, Comp-Mech Group). Questa attività ha l'obiettivo di proporre modelli costitutivi fenomenologici per descrivere il comportamento

termomeccanico di materiali intelligenti quali leghe a memoria di forma, che trovano largo impiego in ambito aerospaziale e dell'automazione.

Caratterizzazione e modellazione costitutiva di idrogeli (G. Scalet, F. Auricchio, Comp-Mech Group). Gli idrogeli sensibili al pH sono reti idrofile di polimero, che trovano largo impiego nel settore biomedicale, ad esempio per la realizzazione di sistemi a rilascio controllato di farmaci. L'obiettivo dell'attività svolta è la preparazione di idrogeli sensibili al pH stampati in 3D, che presentino migliori proprietà meccaniche rispetto a idrogeli attualmente disponibili in letteratura e che consentano, quindi, di ampliarne il campo di applicazione (*coll. D. Dondi, Ing. Diego Savio Branciforti – Dipartimento di Chimica*).

Materiali per stampa 3D e modellazione (S. Marconi, S. Morganti, F. Auricchio, Comp-Mech Group). In questo ambito si svolgono le seguenti attività: sviluppare materiali innovativi e soluzioni hardware e software per la Stereolitografia 3D; lo studio e la modellazione del comportamento a memoria di forma a una e due vie di polimeri sviluppati in laboratorio; modellazione e prototipazione tramite stampa 4D di componenti in polimeri a memoria di forma; caratterizzazione di materiali stampati 3D in PLA caricato con nanoparticelle di grafene; lo studio e la realizzazione di componenti elettronici con poliuretano termoplastico stampato con tecnologia FDM o uso di una stampante binder jetting (Projet460 Plus) per polvere di gesso; realizzazione di oggetti in materiale ceramico avanzato (e.g., carburo di silicio/titanio) oppure metallico (e.g., Rame) attraverso la stampa 3D di soluzioni liquide viscosi in forme anche complesse; fattibilità di stampa e sviluppo di opportuni profili di stampa per un filamento di Policaprolattone (PCL) per stampa 3D FDM per patch biocompatibili; realizzazione tramite stampa 3D FDM di attuatori meccanici a controllo ottico. L'attività prevede la realizzazione di campioni formati da layer di due materiali termoplastici con temperature di rammollimento differenti, caratterizzati da un buon grado di trasparenza; caratterizzazione meccanica di materiali auxetici. (alcune attività in *coll. D. Pasini e D. Dondi del Dip. di Chimica e B. Conti Dip Scienze del farmaco*, oltre che svariate altre università ed aziende).

Stampa 3D per applicazioni medicali (S. Marconi, F. Auricchio, Comp-Mech Group).

L'attività ha l'obiettivo di supportare la pratica clinica e chirurgica attraverso lo sviluppo di modelli stampati 3D patient-specific, ovvero ricostruiti da immagini medicali (come TAC o RM) dello specifico paziente. L'utilizzo dei modelli anatomici spazia dalla pianificazione chirurgica, allo sviluppo di strumentazione a supporto della didattica o della chirurgia, alla simulazione chirurgica in vitro, fino al dialogo con il paziente. L'attività ha portato alla realizzazione del laboratorio 3D4Med (www.3d4med.eu), all'interno del IRCCS Policlinico San Matteo di Pavia.

Bioprinting – BioP (M. Conti, S. Marconi, F. Auricchio, Comp-Mech Group).

L'attività consiste nella creazione di modelli 3D biologici tramite stampa 3D di idrogel caricati con cellule tramite bioplotter (Cellink INKREDIBLE+) presso Laboratorio di Chirurgia Sperimentale per modelli di fibre muscolari; stampa di idrogel a base di chitosano per incapsulare una linea cellulare di fibroblasti per rigenerazione tissutale; stampa 3D di bioscaffold impiantabili ricchi di osteociti e della loro matrice ossea calcificata, per chirurgia ortopedica, maxillofacciale e otorinolaringoiatria; produrre dati sperimentali per modellizzare, tramite tecniche computazionali, il processo di reticolazione di idrogel a base di sodio alginato e gelatina per applicazioni nell'ambito del bioprinting (Collab. Dott. M. Marino, Hannover); sviluppare, tramite tecniche di bioprinting, un modello 3D di giunzione neuromuscolare (NMJ) per studiare malattie neurodegenerative (e.g. sclerosi laterale amiotrofica – SLA); sviluppo di materiali polimerici 3D innovativi (polyHIPE - l'High Internal Phase Emulsion) da utilizzare come *drug delivery system* e come scaffold per colture cellulari.

Allegato. Pubblicazioni 2018 separate per i principali referenti nei Dipartimenti

DIPARTIMENTO di FISICA

A. Pisanu, A. Mahata, E. Mosconi, M. Patrini, P. Quadrelli, C. Milanese, F. De Angelis, L. Malavasi, *Exploring the Limits of Three-Dimensional Perovskites: The case of FAPb_{1-x}Sn_xBr₃*, ACS Energy Letters (2018) **3**, 1353-1359

Invernizzi F., Patrini M., Vezzù K., Di Noto V., Mustarelli P., Polyurethane-Based Electrostrictive Nanocomposites as High Strain-Low Frequency Mechanical Energy Harvesters (2018) Journal of Physical Chemistry C, 122 (37), pp. 21115-21123.

S. Bonomi, D. Marongiu, N. Sestu, M. Saba, M. Patrini, G. Bongiovanni, L. Malavasi, *Novel Physical Vapor Deposition Approach to Hybrid Perovskites: Growth of MAPbI₃ Thin Films by RF-Magnetron Sputtering*, Scientific Reports (2018) **8**, 15388

A. Speltini, A. Pisanu, A. Profumo, C. Milanese, L. Sangaletti, G. Drera, M. Patrini, M. Pentimalli, L. Malavasi, *Rationalization of hydrogen production by bulk g-C₃N₄: an in-depth correlation between physico-chemical parameters and solar light photocatalysis*, RSC Advances (2018) **8**, 39421-39431

D. Spada, M.C. Mozzati, B. Albinì, P. Galinetto, I. Quinzeni, D. Capsoni, M. Bini; Deepening the shear structure FeNb₁₁O₂₉: influence of polymorphism and doping on structural, spectroscopic and magnetic properties, Dalton Transactions 47, 44 15816-15826 (2018).

S. Bonomi, I. Tredici, B. Albinì, P. Galinetto, A. Rizzo, A. Listorti, U.A. Tamburini, L. Malavasi; Ambient condition retention of band-gap tuning in MAPbI₃ induced by high pressure quenching, Chemical Communications 54, 94, 13212-13215 (2018).

B. Bassi, G. Dacarro, P. Galinetto, E. Giulotto, N. Marchesi, P. Pallavicini, A. Pascale, S. Perversi, A. Taglietti, Tailored coating of gold nanostars: rational approach to prototype of theranostic device based on SERS and photothermal effects at ultralow irradiance, Nanotechnology 29, 23, 235301 (2018).

M. Bini, C. Tondo, D. Capsoni, B. Albinì, M.C. Mozzati, P. Galinetto, Superparamagnetic ZnFe₂O₄ nanoparticles: The effect of Ca and Gd doping, Materials Chemistry and Physics 204, 72-82 (2018).

G. Drera, M.C. Mozzati, L. Malavasi, P. Galinetto, L. Sangaletti; Effects of Nearly-2D Oxygen Vacancy Clustering on the Magnetic Properties of d(0) Systems: The Case of Anatase and Rutile TiO₂; Physica status solidi b-basic solid state physics 255, 10, 1800058 (2018).

P. Galinetto, B. Albinì, M. Bini and M. C. Mozzati, Raman Spectroscopy in Zinc Ferrites Nanoparticles in *Raman Spectroscopy Ed. by G.M. Do Nascimento*, Intech

DIPARTIMENTO di CHIMICA

(numerazione per Linea A.)

1. Ferrara, C., Ferrari, S., Bini, M., Capsoni, D., Pintacuda, G., Mustarelli, P., To Which Extent Is Paramagnetic Solid-State NMR Able to Address Polymorphism in Complex Transition-Metal Oxides? (2018) Journal of Physical Chemistry Letters, 9 (20), pp. 6072-6076.

2. Millia, L., Dall'Asta, V., Ferrara, C., Berbenni, V., Quartarone, E., Perna, F.M., Capriati, V., Mustarelli, P., Bio-inspired choline chloride-based deep eutectic solvents as electrolytes for lithium-ion batteries (2018) Solid State Ionics, 323, pp. 44-48.

3. Invernizzi, F., Patrini, M., Vezzù, K., Di Noto, V., Mustarelli, P., Polyurethane-Based Electrostrictive Nanocomposites as High Strain-Low Frequency Mechanical Energy Harvesters (2018) Journal of Physical Chemistry C, 122 (37), pp. 21115-21123.

4. Bini, M., Boni, P., Mustarelli, P., Quinzeni, I., Bruni, G., Capsoni, D., Silicon-doped $\text{LiNi}_0.5\text{Mn}_1.5\text{O}_4$ as a high-voltage cathode for Li-ion batteries (2018) *Solid State Ionics*, 320, pp. 1-6.
 5. Angioni, S., Millia, L., Mustarelli, P., Doria, E., Temporiti, M.E., Mannucci, B., Corana, F., Quartarone, E., Photosynthetic microbial fuel cell with polybenzimidazole membrane: synergy between bacteria and algae for wastewater removal and biorefinery (2018) *Heliyon*, 4 (3), art. no. e00560.
- A. Pisanu, A. Mahata, E. Mosconi, M. Patrini, P. Quadrelli, C. Milanese, F. De Angelis, L. Malavasi, *Exploring the Limits of Three-Dimensional Perovskites: The case of $\text{FAPb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Br}_3$* , *ACS Energy Letters* (2018) **3**, 1353-1359
- S. Bonomi, D. Marongiu, N. Sestu, M. Saba, M. Patrini, G. Bongiovanni, L. Malavasi, *Novel Physical Vapor Deposition Approach to Hybrid Perovskites: Growth of MAPbI_3 Thin Films by RF-Magnetron Sputtering*, *Scientific Reports* (2018) **8**, 15388
- A. Speltini, A. Pisanu, A. Profumo, C. Milanese, L. Sangaletti, G. Drera, M. Patrini, M. Pentimalli, L. Malavasi, *Rationalization of hydrogen production by bulk $g\text{-C}_3\text{N}_4$: an in-depth correlation between physico-chemical parameters and solar light photocatalysis*, *RSC Advances* (2018) **8**, 39421-39431
- A. Pisanu, A. Speltini, B. Vigani, F. Ferrari, M. Mannini, N. Calisi, B. Cortigiani, A. Caneschi, P. Quadrelli, A. Profumo, L. Malavasi, *Enhanced Hydrogen Photogeneration by Bulk $g\text{-C}_3\text{N}_4$ Through a Simple and Efficient Oxidation Route*, *Dalton Trans.* (2018) **47**, 6772-6778.
- A. Speltini, A. Scalabrini, F. Maraschi, M. Sturini, A. Pisanu, L. Malavasi, A. Profumo, *Improved photocatalytic H_2 production assisted by aqueous glucose biomass by oxidized $g\text{-C}_3\text{N}_4$* , *Int. J. Hydrogen Energy* (2018) **43**, 14925-14933
- A. Bernasconi, C. Tealdi, L. Malavasi, *High-Temperature Structural Evolution in the $\text{Ba}_3\text{Mo}(1-x)\text{W}_x\text{NbO}_{8.5}$ System and Correlation with Ionic Transport Properties*, *Inorganic Chemistry* (2018) **57**, 6746-6752.
- A. Bernasconi, C. Tealdi, M. Muehlbauer, L. Malavasi, *Synthesis, Crystal Structure and Ionic Conductivity of the $\text{Ba}_3\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{NbO}_{8.5}$ Solid Solution*, *J. Solid State Chemistry* (2018) **258**, 628-633
- Taglietti A., Grisoli P., Dacarro G., Gattesco A., Mangano C., Pallavicini P. Grafted monolayers of the neutral Cu(ii) complex of a dioxo-2,3,2 ligand: Surfaces with decreased antibacterial action. *New Journal of Chemistry* 42(10) (2018) 7595-7598
- Bassi B., Dacarro G., Galinetto P., Giulotto E., Marchesi N., Pallavicini P., Pascale A., Perversi S., Taglietti A., Tailored coating of gold nanostars: Rational approach to prototype of theranostic device based on SERS and photothermal effects at ultralow irradiance. *Nanotechnology* 29(23) (2018) Article number 235301
- Pallavicini P., Dacarro G., Taglietti A., Self-Assembled Monolayers of Silver Nanoparticles: From Intrinsic to Switchable Inorganic Antibacterial Surface, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2018, Issue 45, 4846-4855
- Chirico G., Dacarro G., O'Regan C., Sarfraz J., Taglietti A., Borzenkov M., Pallavicini P., Photothermally Responsive Inks for Inkjet-Printing Secure Information, *Particle and Particle Systems Characterization*, 35, Issue 9, 2018, Article number 1800095
- Borzenkov M., Moros M., Tortiglione C., Bertoldi S., Contessi N., Faré S., Taglietti A., D'Agostino A., Pallavicini P., Collini M., Chirico G., Fabrication of photothermally active poly(vinyl alcohol) films with gold nanostars for antibacterial applications *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 9, Issue 1, 2018, 2040-2048.

DIPARTIMENTO di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

E. Hasani, J. Parravicini, L. Tartara, A. Tomaselli, and D. Tomassini, *Measurement of two-photon-absorption spectra through nonlinear fluorescence produced by a line-shaped excitation beam*, Journal of Microscopy 270, 210 (2018)

E. Colusso, F. De Ferrari, P. Minzioni, A. Martucci, Y. Wang, F.G. Omenetto “*Engineering optical defects in biopolymer photonic lattices*” Journal of Materials Chemistry C 6, 966 (2018)

T. Yang, V. Vitali, P. Minzioni “*Acoustofluidic separation: impact of microfluidic system design and of sample properties*” Microfluidics and Nanofluidics 22, Issue 44, (2018)

G. Nava, T. Yang, V. Vitali, P. Minzioni, I. Cristiani, F. Bragheri, R. Osellame, L. Bethge, S. Klusmann, E.M. Paraboschi, R. Asseltafg, T. Bellini “*Newtonian to non-Newtonian fluid transition of a model transient network*” Soft Matter 14, 3288 (2018)

V. Vitali, T. Yang, P. Minzioni “*Separation efficiency maximization in acoustofluidic systems: study of the sample launch-position*” RSC Advances 8, 38955 (2018)

DIPARTIMENTO di Scienze del Farmaco

Rossi S., Mori M., Vigani B., Bonferoni M.C., Sandri G., Riva F., Caramella C., Ferrari F., A novel dressing for the combined delivery of platelet lysate and vancomycin hydrochloride to chronic skin ulcers: Hyaluronic acid particles in alginate matrices, Eur. J. Pharm. Sci. 118 (2018) 87- 95

Vigani B., Rossi S., Sandri G., Bonferoni M.C., Milanese G., Bruni G., Ferrari F., Coated electrospun alginate-containing fibers as novel delivery systems for regenerative purposes, Int. J. Nanomedicine 13 (2018) 6351- 6550

Rossi S., Vigani B., Bonferoni, M.C., Sandri, G., Caramella, C., Ferrari, F., Rheological analysis and mucoadhesion: A 30 year-old and still active combination, J. Pharm. Biomed. Anal. 156 (2018) 232- 238

Saporito F., Sandri G., Bonferoni M.C., Rossi S., Boselli C., Icaro Cornaglia A., Mannucci B., Grisoli P., Vigani B., Ferrari F., Essential oil-loaded lipid nanoparticles for wound healing. Int. J. Nanomedicine 13 (2018) 175-186

Bonferoni M.C., Sandri G., Rossi S., Delleria E., Invernizzi A., Boselli. C., Icaro Cornaglia, A., Del Fante C., Perotti. C., Vigani B., Riva. F., Caramella C., Ferrari F., Association of alpha tocopherol and ag sulfadiazine chitosan oleate nanocarriers in bioactive dressings supporting platelet lysate application to skin wounds, Marine Drugs 16 (2018) article number 56

Bonferoni M.C., Riva F., Invernizzi A., Delleria E., Sandri G., Rossi S., Marrubini G., Bruni G., Vigani B., Caramella C., Ferrari F., Alpha tocopherol loaded chitosan oleate nanoemulsions for wound healing.Evaluation on cell lines and ex vivo human biopsies, and stabilization in spray dried Trojan microparticles. Eur. J. Pharm. Biopharm. 123 (2018), 31-41

Saporito F., Sandri G., Bonferoni M.C., Rossi S., Malavasi L., del Fante C., Vigani B., Black L., Ferrari F., Electrospun gelatin–chondroitin sulfate scaffolds loaded with platelet lysate promote immature cardiomyocyte proliferation, Polymers 10 (2018) article 208

Saporito F., Sandri G., Rossi S., Bonferoni M.C., Riva F., Malavasi L., Caramella C., Ferrari F., Freeze dried chitosan acetate dressings with glycosaminoglycans and traxenamic acid. Carbohydr. Pol. 184 (2018) 408-417

Fontana F., Albertini S., Correia A., Kemell M., Lindgren R., Mäkilä E., Salonen J., Hirvonen J.T., Ferrari F., Santos H.A., Bioengineered porous silicon nanoparticles at macrophages cell membrane as composite platforms for rheumatoid arthritis. *Adv. Funct. Mat.* 28 (2018) article 1801355

Gavini E., Bonferoni M.C., Rassa G., Obinu A., Ferrari F., Giunchedi P., Biodegradable microspheres as intravitreal delivery systems for prolonged drug release. What is their eminence in the nanoparticle era? *Curr. Drug Deliv.* 15 (7) (2018) 930-940

Vigani B., Rossi S., Milanese G., Bonferoni M.C., Sandri G., Bruni G., Ferrari F., Electrospun alginate fibers: Mixing of two different poly(ethylene oxide) grades to improve fiber functional properties. *Nanomaterials*, 8 (2018) article 971

Miele D., Rossi S., Sandri G., Vigani B., Sorrenti M., Giunchedi P., Ferrari F., Bonferoni M.C., Chitosan oleate salt as an amphiphilic polymer for the surface modification of poly-lactic-glycolic acid (PLGA) nanoparticles. Preliminary studies of mucoadhesion and cell interaction properties. *Marine Drugs* 16 (2018) article 447

Obinu A, Gavini E. Rassa G., Maestri M., Bonferoni M.C., Giunchedi P., Nanoparticles in detection and treatment of lymph node metastases: an update from the point of view of administration routes. *Expert Opinion Drug. Del.* 15(2018) 117-1126

Tripodo G., Trapani A., Rosato A., Di Franco C., Tamma R., Trapani G., Ribatti D., Mandracchia D. Hydrogels for biomedical applications from glycol chitosan and PEG diglycidyl ether exhibit pro-angiogenic and antibacterial activity *Carbohydrate Polymers*, 198, (2018) 124-130

Bari E., Perteghella S., Marrubini G., Sorrenti M., Catenacci L., Tripodo G., Mastrogiacomo M., Mandracchia D., Trapani A., Faragò S., Gaetani P., Torre M.L., In vitro efficacy of silk sericin microparticles and platelet lysate for intervertebral disk regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules* 118 (2018), 792-799.

Trapani A., Mandracchia D., Tripodo G., Cometa S., Cellamare S., De Giglio E., Klepetsanis P., Antimisiaris S.G., Protection of dopamine towards autoxidation reaction by encapsulation into non-coated- or chitosan or thiolated chitosan-coated-liposomes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 170 (2018) 11-19

Trapani A., Tripodo G., Mandracchia D., Cioffi N., Ditaranto N., De Leo V., Cordero H., Esteban M.A., Glutathione-loaded solid lipid nanoparticles based on Gelucire® 50/30: Spectroscopic characterization and interactions with fish cells. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 47 (2018) 359-366

Mandracchia D., Trapani A., Perteghella S., Di Franco C., Torre M.L., Calleri E., Tripodo G., A micellar-hydrogel nanogrid from a UV crosslinked inulin derivative for the simultaneous delivery of hydrophobic and hydrophilic drugs. *Pharmaceutics*, 10 (3) (2018) article 97

Galuzzi, M., Perteghella S., Antonioli B., Tosca M.C., Bari E., Tripodo G., Sorrenti M., Catenacci, L., Mastracci L., Grillo F., Marazzi M., Torre M.L., Human engineered cartilage and decellularized matrix as an alternative to animal osteoarthritis model. *Polymers*, 10 (7) (2018), article 738

Mandracchia, D., Trapani, A., Perteghella, S., Sorrenti, M., Catenacci, L., Torre, M.L., Trapani, G., Tripodo, G., pH-sensitive inulin-based nanomicelles for intestinal site-specific and controlled release of celecoxib. *Carbohydrate Polymers*, 181 (2018) 570-578

Tripodo G., Marrubini G., Corti M., Brusotti G., Milanese C., Sorrenti M., Catenacci L., Massolini G., Calleri E., Acrylate-based poly-high internal phase emulsions for effective enzyme immobilization and activity retention: From computationally-assisted synthesis to pharmaceutical applications. *Polymer Chemistry*, 9 (1) (2018) 87-97

Crivelli, B., Perteghella, S., Bari, E., Sorrenti, M., Tripodo, G., Chlapanidas, T., Torre, M.L., Silk nanoparticles: From inert supports to bioactive natural carriers for drug delivery. *Soft Matter*, 14 (4) (2018) 546-557

Bari E., Perteghella S., Di Silvestre D., Sorlini M., Catenacci L., Sorrenti M., Marrubini G., Rossi R., Tripodo G., Mauri P., Marazzi M., Torre M.L., Pilot production of mesenchymal stem/stromal freeze-dried secretome for cell-free regenerative nanomedicine: a validated GMP-compliant process. *Cells*, 7 (2018), article 190

Orfei C.P., Talò G., Viganò M., Perteghella, S., Lugano G., Fontana F.F., Ragni E., Colombini A., De Luca P., Moretti M., Torre M.L., De Girolamo, L., Silk/fibroin microcarriers for mesenchymal stem cell delivery: Optimization of cell seeding by the design of experiment. *Pharmaceutics* 10 (4) (2018), article 200

Bari E., Perteghella S., Faragò S., Torre M.L., Association of silk sericin and platelet lysate: Premises for the formulation of wound healing active medications. *International Journal of Biological Macromolecules* 119 (2018), 37-47

Faustini M., Curone G., Torre M.L., Vigo D., Bioencapsulation of oocytes and granulosa cells. *Methods in Molecular Biology* 1817 (2018), 89-93

Chiesa E., Pisani S., Colzani B., Dorati R., Conti B., Modena T., Braekmans K., Genta I., Intra-articular formulation of GE11-PLGA conjugate-based NPs for dexamethasone selective targeting—In vitro evaluation. *International Journal of Molecular Sciences* 19 (8) (2018), 2304-2325

Chiesa E., Dorati R., Modena T., Conti B., Genta I., Multivariate analysis for the optimization of microfluidics-assisted nanoprecipitation method intended for the loading of small hydrophilic drugs into PLGA nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics* 536 (1) (2018)165-177

Pisani S., Dorati R., Conti B., Modena T., Bruni G., Genta I., Design of copolymer PLA-PCL electrospun matrix for biomedical applications. *Reactive & Functional Polymers* 124 (2018) 77-89

Dorati R., De Trizio A., Spalla M., Migliavacca R., Pagani L., Pisani S., Chiesa E., Conti B., Modena T., Genta I., Gentamicin Sulfate PEG-PLGA/PLGA-H Nanoparticles: Screening Design and Antimicrobial Effect Evaluation toward Clinic Bacterial Isolates. *Nanomaterials* 8 (1) (2018) E37

Dorati R., Pisani S., Maffei G., Conti B., Modena T., Chiesa E., Bruni G., Musazzi U.M., Genta I., Study on hydrophilicity and degradability of chitosan/poly(lactide-co-polycaprolactone) nanofibre blend electrospun membrane. *Carbohydrate polymers* 199 (2018) 150-160

Dorati R., Conti B., Colzani B., Dondi D., Lazzaroni S., Modena T., Genta I., Ivermectin controlled release implants based on poly-D,L-lactide and poly-ε-caprolactone. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 46 (2018) 101-110

Genta I., Chiesa E., Colzani B., Modena T., Conti B., Dorati R., GE11 peptide as an active targeting agent in antitumor therapy: A minireview. *Pharmaceutics* 10(1) (2018) 1-14

Chiesa E., Dorati R., Conti B., Modena T., Cova E., Meloni F., Genta I., Hyaluronic acid-decorated chitosan nanoparticles for CD44-targeted delivery of everolimus. *International Journal of Molecular Sciences* 19 (2018) 2310-2335

Taglietti A., Grisoli P., Dacarro G., Gattesco A., Mangano C., Pallavicini P. Grafted monolayers of the neutral Cu(ii) complex of a dioxo-2,3,2 ligand: Surfaces with decreased antibacterial action. *New Journal of Chemistry* 42(10) (2018) 7595-7598

Bassi B., Dacarro G., Galinetto P., Giulotto E., Marchesi N., Pallavicini P., Pascale A., Perversi S., Taglietti A., Tailored coating of gold nanostars: Rational approach to prototype of theranostic device based on SERS and photothermal effects at ultralow irradiance. *Nanotechnology* 29(23) (2018) Article number 235301

G. Scalet, C. Menna, A. Constantinescu, F. Auricchio. A computational approach based on a multiaxial fatigue criterion combining phase transformation and shakedown response for the fatigue life assessment of Nitinol stents, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 29(19):3710-3724 (2018)

M. Peigney, G. Scalet, F. Auricchio. A time-integration algorithm for a 3D constitutive model for SMAs including permanent inelasticity and degradation effects, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 115(9):1053-1082 (2018).

Aidin Hajikhani, Franca Scocozza, Michele Conti, Michele Marino, Ferdinando Auricchio, Peter Wriggers. Experimental characterization and computational modeling of hydrogel cross-linking for bioprinting applications. Submitted to *International Journal of Artificial Organs (IJAo)*.

Marone EM, Auricchio F, Marconi S, Conti M, Rinaldi LF, Pietrabissa A, Argentero A, "Effectiveness of 3D printed models in the treatment of complex aortic diseases", *Journal of Cardiovascular Surgery*, 2018 Oct; 59(5): 699-706.

Marconi S, Lanzarone E, van Bogaerijen GHW, Conti M, Secchi F, Trimarchi S, Auricchio F, "A compliant aortic model for in vitro simulations: design and manufacturing process", *Journal of the Medical Engineering & Physics*, 2018 Sep; 59: 21-29.

Pugliese L, Marconi S, Negrello E, Mauri V, Peri A, Gallo V, Auricchio F, Pietrabissa A, "The Clinical Use of 3D Printing in Surgery", *Updates in Surgery*, 2018 Sep; 70(3): 381-388.

Canzi P, Magonetto M, Marconi S, Morbini P, Mauramati S, Aprile F, Avato I, Auricchio F, Benazzo M, "New frontiers and emerging applications of 3D printing in ENT surgery: A systematic review of the literature", *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 2018 Aug; 38(4).

G. Scalet, S. Pandini, M. Messori, M. Toselli, F. Auricchio. A one-dimensional phenomenological model for the two-way shape- memory effect in semi-crystalline networks. *Polymer*, 158:130-148 (2018).

N. Inverardi, S. Pandini, F. Bignotti, G. Scalet, S. Marconi, F. Auricchio. Temperature- Memory effect in 3D Printed Photopolymers with Broad Glass Transition. *AIP Conference Proceedings* 1981, 020146 2018, 9th International Conference on Times of Polymers & Composites (TOP 2018).