

**Centro di Ricerca Interdipartimentale in Materiali Avanzati e  
Dispositivi - Advanced Materials And Devices – (MADE)  
ex “CENTRO LASER, SPETTROSCOPIA OTTICA E MATERIALI PER LA FOTONICA”  
(CILSOMAF)**

**RELAZIONE di ATTIVITA' 2017**

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 2017 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 vengono riportati i risultati ottenuti nell’ambito delle principali linee di ricerca, suddivisi per Dipartimento di gestione delle attività o per afferenza dei ricercatori maggiormente coinvolti, con alcune recenti pubblicazioni in riviste internazionali con referaggio ad esse riferite.

## **DIPARTIMENTO DI FISICA**

Nel corso del 2017 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 carbon-based, ottenuti da soluzione e processi di sputtering o per spin-coating; studio di microcavità fotoniche planari polimeriche per ottimizzare l’emissione in fotoluminescenza (*coll. D. Comoretto, Dip. Chim. Industriale, Uni Genova*)
- caratterizzazione e ottimizzazione di materiali per celle solari tandem, e loro coating ossidi nanostrutturati al fine di rendere più efficiente l’assorbimento di radiazione nella regione spettrale visibile-NIR (*coll. RSE s.r.l. Piacenza*)
- proprietà ottiche e morfologiche di perovskiti ibride organiche-inorganiche (*coll. L. Malavasi, Dip. Chimica*) FAMAPbI<sub>3</sub> e FAMASn<sub>x</sub>Pb<sub>1-x</sub>X<sub>3</sub> per strutture fotovoltaiche con soglia di assorbimento ottico modulabile verso il NIR, maggiore stabilità nel tempo e contenuto inferiore di Pb
- studio, caratterizzazione e simulazione di materiali e dispositivi per *energy harvesting* da vibrazioni a bassa frequenza (*coll. P. Mustarelli, Dip. Chimica*)
- 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*).

**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;
- 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, trovano interesse per le peculiari proprietà di confinamento dei modi e di amplificazione ottica.

### **C. Studio di superfici antimicrobiche e vettori per drug delivery** (coll. *In-lab, Dip. Chimica*)

Sono state caratterizzate superfici antimicrobiche basate su nanostrutture anisotrope di Ag (*platelets*) accresciute da soluzione di particelle su vetri funzionalizzati con doppia azione antimicrobica, sia per rilascio continuo di ioni  $Ag^+$ , sia per azione fototermica indotta da irraggiamento risonante nel NIR. Un analogo effetto combinato è stato realizzato con elevata efficienza in superfici antimicrobiche con azione combinata da nanostelle di Au e nanoparticelle di Ag.

In prospettiva, si intende verificare l'implementazione su substrati di utilizzo biomedico di funzionalità sensoristiche mediante SERS, realizzando opportune funzionalizzazione con marcatori biocompatibili.

Le pubblicazioni relative alle suddette tematiche sono citate in allegato.

## **DIPARTIMENTO DI CHIMICA**

### **A. 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) nell'anno 2017 hanno riguardato le seguenti tematiche:

- i) modifica superficiale di materiali vetrosi massivi con monostrati di nanoparticelle (NP) metalliche con effetto antibatterico e anti-biofilm. Da diversi anni il gruppo di ricerca lavora sulla messa a punto di materiali antibatterici e anti-biofilm basati su due meccanismi: un effetto antibatterico "intrinseco" dato dalla presenza dei metalli (ad esempio Ag e Cu) e un effetto "attivabile" basato sul cosiddetto effetto fototermico. Quest'ultimo si basa sull'irraggiamento di NP con opportune caratteristiche, che possono portare ad un aumento della temperatura locale di 5-20°C anche a basse irradianze ( $\ll 1W/cm^2$ ). Caratteristica fondamentale è la presenza di bande di assorbimento nella finestra biotrasparente del vicino IR (750-900 nm), che permette di ipotizzare un utilizzo in vivo di questi materiali per la funzionalizzazione di protesi, impianti e dispositivi biomedici internalizzabili. I lavori recentemente pubblicati in questo ambito riguardano: la possibilità di depositare NP asimmetriche di argento (nanoprismi) con una doppia azione intrinseca e attivabile, la realizzazione di multistrati che combinino particelle con attività fototermica (nanostelle di Au) e particelle con attività intrinseca (nanosfere di Ag), la protezione di questi monostrati dall'usura chimica e meccanica e l'utilizzo di nanomateriali a minor costo ed elevata biocompatibilità (ad es. solfuro di rame e blu di prussia).
- ii) Utilizzo di nanoparticelle asimmetriche di Au (nanostelle, NS) come dispositivi teranostici. Le Au NS possono anche essere utilizzate come agenti di contrasto in diverse tecniche diagnostiche, oltre che come *carriers* per farmaci e chemioterapici. Il gruppo ha realizzato nuove sintesi per la preparazione di NS a dimensione regolabile (un parametro fondamentale per ottimizzare i processi di internalizzazione cellulare e permeazione dei vasi sanguigni) e sulla funzionalizzazione superficiale dei nano-oggetti. La ricopertura di NS con molecole organiche è fondamentale per impartire loro una maggiore biocompatibilità, oltre che per introdurre funzioni

in grado di dare un *targeting* attivo delle cellule tumorali. Si è lavorato in oltre sulla possibilità di caricare le NS con molecole siRNA (short interfering RNA), utilizzate nell'ambito della terapia genica dei tumori.

- iii) Sintesi “*green*” di materiali antibatterici basati su NP d'argento. La preparazione messa a punto nell'anno precedente, basata sull'utilizzo della pectina, è stata ottimizzata e sono stati testati diversi altri polimeri e molecole naturali che possano agire da riducenti degli ioni  $Ag^+$  e da stabilizzanti per la particella. Sono state utilizzate sia molecole commerciali (come la pectina stessa) che estratti ottenuti da prodotti di scarto delle produzioni agricole legate al territorio, come il riso e l'uva. Le soluzioni ottenute sono non-tossiche per i fibroblasti ma antibatteriche, e si sono rivelate eccellenti trattamenti per il *wound healing* e per il trattamento di *biofilm* batterici.
- iv) Uso di NP per la produzione di inchiostri funzionali stampabili con stampanti inkjet. Dopo aver studiato la funzionalizzazione adatta a ricoprire Au NS per renderle sufficientemente stabili e così altamente solubili da formare inchiostri in miscele di solventi di adatta viscosità per l'utilizzo in stampanti inkjet, abbiamo esteso lo studio ad altri tipi di particelle con effetto fototermico, focalizzando l'attenzione su materiali a minor costo ed elevata biocompatibilità (ad es. solfuro di rame, blu di prussia). La morfologia delle superfici stampate e la loro risposta fototermica sono state anche utilizzate per stimolare e dirigere la crescita di cellule neuronali, verso la formazione di strati/fogli di cellule, potenzialmente trapiantabili.

Le pubblicazioni relative alle suddette tematiche sono citate in allegato.

Sviluppi in corso per il 2018 sono: - portare la chimica per la formazione di monostrati di AgNP e Au NS dal vetro a materiali di uso comune nei dispositivi biomedici, come per esempio PDMS, per una immediata integrabilità dei coating antibatterici su strumenti e dispositivi di uso biomedico corrente - realizzazione di monostrati antibatterici e di inchiostri con risposta fototermica utilizzando nanoparticelle di materiali biocompatibili, *FDA approved*, ed economicamente più convenienti rispetto a Au e Ag – test approfonditi sull'attività antibatterica e di *wound-healing* delle nanoparticelle d'argento ottenute con sintesi *green*.

### **B. Energetica** (ref. P. Mustarelli)

Nel corso del 2017 il gruppo di elettrochimica ed energetica della Sezione di Chimica Fisica (GREENMAT) si è occupato delle seguenti linee di ricerca: 1) sintesi e caratterizzazione di membrane polimeriche e MEA per celle a combustibile polimeriche ad alta temperatura. Sono stati esplorati sistemi a base di polibenzimidazolo con modificazioni all'interno della matrice monomerica e funzionalizzazioni con gruppi solfonici; 2) messa a punto di celle a combustibile microbiche e sistemi misti (bioreattori elettrochimici) per la crescita di biomasse vegetali; 3) studi teorici e sperimentali di materiali catodici per batterie al litio; 4) sintesi e caratterizzazione di elettroliti liquidi e polimerici a base di liquidi ionici per applicazioni in batterie litio-ione e alluminio-ione; 5) studi teorici e sperimentali (diffrazione neutronica e NMR allo stato solido) di materiali ossidici di potenziale interesse come elettroliti in celle a combustibile a ossidi solidi.

I risultati della attività scientifica sono stati rendicontati in nove pubblicazioni su riviste internazionali, citate in allegato.

### **C. Materiali Avanzati per Clean Energy** (ref. L. Malavasi)

Nel corso del 2017 il gruppo di Chimica dei Materiali (prof. Malavasi) 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 massiva, di nanocristalli e di film sottili e 2) catalizzatori a base di g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> per sviluppo di idrogeno e per la degradazione foto-assistita di inquinanti. 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 con particolare attenzione a fasi *environmental friendly* con Sn. Per quanto riguarda il punto 2), ci si è focalizzati sul C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> grafítico 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 drogati con anioni oltre alla sintesi di g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ossidato. I risultati della attività scientifica sono stati rendicontati in sei pubblicazioni su riviste internazionali, elencate in allegato.

## **DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL' INFORMAZIONE**

E' proseguita l'attività nel campo della microscopia nonlineare a scansione lineare. Sono state sperimentate con successo nuove configurazioni sperimentali volte ad ottenere un'illuminazione uniforme del campo di vista mantenendo al tempo stesso le prestazioni di risoluzione assiale e trasversale e di profondità di penetrazione. Dal punto di vista applicativo, l'apparato realizzato si è dimostrato anche in grado di misurare spettri di assorbimento a due fotoni. In particolare sono stati caratterizzate eosina ed ematossilina, due coloranti comunemente impiegati in ambito biomedicale, ma i cui spettri di assorbimento a due fotoni non sono disponibili in letteratura.

Nell'ambito della caratterizzazione di materiali per l'ottica nonlineare, si è proseguita l'attività riguardante cristalli disordinati di perovskiti, principalmente niobato-tantalato di litio-potassio puri e drogati. Gli esperimenti condotti sono stati di generazione di seconda armonica al variare delle condizioni di poling dei cristalli e della temperatura rispetto a quella della transizione di fase. I dati ottenuti sono ora in fase di interpretazione.

L'attività riguardante lo sviluppo di componenti ottici integrati su silicio ha portato a diversi risultati interessanti, sia riguardo la progettazione di reticoli di accoppiamento sia riguardo la riduzione delle perdite in sistemi di filtri ad alte prestazioni.

Per quanto riguarda l'attività dedicata alla biofotonica ed alla optofluidica è stato dimostrato un innovativo sistema per la misura di viscosità di fluidi basata sull'utilizzo di un sistema micro-opto fluidico.

Le pubblicazioni relative alle suddette 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 a SSD diversi presenti nel Dipartimento, in particolare CHIM, BIO e MED, sia gruppi di ricerca afferenti ad altri Dipartimenti (Chimica e Fisica) dell'Ateneo.

In tali ambiti si inserisce l'attività di ricerca attinente alle finalità del MADE svolta nel 2017 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 la medicina rigenerativa;
4. allestimento e/o impiego di "smart excipients" per applicazioni in ambito biomedico.

Le pubblicazioni relative alle suddette tematiche sono citate in allegato.

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.

## **DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA**

Di seguito si riporta una breve descrizione delle attività nei campi di ricerca d'interesse, specificandone le collaborazioni e le pubblicazioni 2017.

**Caratterizzazione meccanica e costitutiva di tessuti biologici** (Dott. S. Morganti - Prof. Auricchio, Comp-Mech Group).

Descrizione. Questa attività ha l'obiettivo di determinare la risposta meccanica di tessuti biologici molli come la parete vascolare aortica al fine di fornire dati sperimentali su cui calibrare simulazioni numeriche a supporto del design di dispositivi biomedicali o affiancare criteri meccanici al planning chirurgico e clinico.

Collaborazioni. IRCCS San Matteo Pavia.

F. Auricchio, A. Ferrara, E. Lanzarone, S. Morganti, P. Totaro. A Regression Method Based on Noninvasive Clinical Data to Predict the Mechanical Behavior of Ascending Aorta Aneurysmal Tissue, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 64 (11), pp. 2607-2617 (2017)

### **Modelli costitutivi dei materiali ed applicazione di leghe a memoria di forma (SMA) per dispositivi biomedicali e non** (Dott.ssa G. Scalet, Prof. Auricchio, Comp-Mech Group).

Descrizione. Questa attività ha l'obiettivo di proporre modelli costitutivi fenomenologici per descrivere il comportamento termomeccanico di materiali intelligenti quali leghe a memoria di forma. Lo studio viene condotto tramite analisi agli elementi finiti e opportuni algoritmi in grado di fornire un tool numerico da utilizzare come supporto ad attività di design. In particolare, sono stati effettuati studi per la simulazione di attuatori SMA che trovano largo impiego in ambito aerospaziale e dell'automazione.

G. Scalet, F. Auricchio, M. Conti. Computational analysis of advanced shape-memory alloy devices through a robust modeling framework, *Shape Memory and Superelasticity* 3 (2), pp. 109-123 (2017)

### **Caratterizzazione e modellazione costitutiva di idrogeli** (Dott.ssa G. Scalet - Prof. Auricchio, Comp-Mech Group).

Descrizione. Gli idrogeli sensibili al pH sono reti idrofile di polimero, il cui comportamento è influenzato dal pH. Tali materiali 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. A tale scopo si svolgono le seguenti attività:

1. Preparazione del setup di stampa 3D. Per la realizzazione dei provini di idrogeli è stata utilizzata una stampante stereolitografica ad immersione, realizzata e opportunamente ottimizzata dal Prof. Dondi e dall'Ing. Branciforti.
2. Preparazione delle miscele. Si considerano due miscele di monomeri di: (i) acido acrilico e PEG200DMA; (ii) acido metacrilico e PEG200DMA. È aggiunto un fotoiniziatore in polvere per garantire la polimerizzazione e un colorante per garantire una migliore definizione di stampa.
3. Valutazione del comportamento di "swelling". Si immerge il provino in una soluzione a pH fisso e si effettuano misurazioni del peso e delle dimensioni del provino a diversi istanti di tempo.
4. Prove meccaniche. Si eseguono prove a compressione non confinata (MTS Insight Electromechanical -10 kN Standard Length) sui provini prima e dopo l'assorbimento di soluzione a pH fisso.

Collaborazioni. Prof. Daniele Dondi, Ing. Diego Savio Branciforti – Dipartimento di Chimica, UniPV.

### **Materiali per stampa 3D e modellazione** (Dott.ssa S. Marconi, Dott. S. Morganti, Prof. Auricchio, Comp-Mech Group).

- Attività di collaborazione svolta con l'azienda FABtotum, il Prof. Dario Pasini (UNIPV), il Dr. Daniele Dondi (UNIPV) e la Prof. Paola Rizzo (UNISA) nell'ambito del progetto RL-INSTM no.IN-RL9. Il progetto di ricerca si propone di sviluppare materiali innovativi e soluzioni hardware e software per la Stereolitografia 3D.
- Attività di collaborazione con il Dr. Stefano Pandini (UNIBS) per lo studio e la modellazione del comportamento a memoria di forma a una e due vie di polimeri sviluppati in laboratorio.

Inoltre, l'attività include un'analisi sperimentale del comportamento a memoria di forma di resine fotopolimeriche commerciali per la stampante 3D SLA Form 2.

- Attività di collaborazione con il gruppo del Prof. Shlomo Magdassi (The Hebrew University of Jerusalem) per la modellazione e prototipazione tramite stampa 4D di componenti in polimeri a memoria di forma.
- Attività di collaborazione svolta con l'azienda FABtotum, il Prof. Dario Pasini (UNIPV), il Dr. Daniele Dondi (UNIPV) e la Prof. Paola Rizzo (UNISA) nell'ambito del progetto RL-INSTM no.IN-RL9. Il progetto di ricerca si propone di sviluppare materiali innovativi e soluzioni hardware e software per la Stereolitografia 3D.
- Caratterizzazione di materiali stampati 3D in PLA caricato con nanoparticelle di grafene in collaborazione con le aziende Filoalfa e DirectaPlus: l'obiettivo del lavoro è la valutazione dell'influenza della percentuale di grafene sulle proprietà meccaniche.
- Attività di collaborazione con il Prof. Maurizio Bozzi per lo studio e la realizzazione di componenti elettronici. In particolare è stata realizzata una guida per la trasmissione di potenza elettrica tramite microonde in poliuretano termoplastico stampato con tecnologia FDM. Una seconda campagna sperimentale ha coinvolto l'uso di una stampante binder jetting (Projet460 Plus) per la valutazione del materiale di stampa utilizzato da questa tecnologia (polvere di gesso) per la medesima applicazione.
- 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. Per i materiali ceramici si intende stampare polveri inorganiche disperse in resine e solventi organici con l'obiettivo di realizzare materiali ceramici dopo opportuni trattamenti termici e di sinterizzazione. Per i materiali metallici si intende stampare colloidi contenenti polveri di ossidi metallici con l'obiettivo di realizzare materiali metallici dopo opportuni trattamenti termici che inducano riduzione e sinterizzazione (collaborazione con Prof. Anselmi-Tamburini).
- Fattibilità di stampa e sviluppo di opportuni profili di stampa per un filamento di Policaprolattone (PCL) per stampa 3D FDM: il filamento, è stato prodotto in via sperimentale grazie alla collaborazione con il produttore di filamenti per stampa 3D TreedsFilaments.
- A valle dell'attività precedente, sono stati progettati *patch* biocompatibili e biorisorbibili per la rigenerazione del tessuto esofageo. I materiali utilizzati sono: acido polilattico (PLA) e policaprolattone (PCL), in diverse proporzioni. In collaborazione con il Dipartimento di Scienze del Farmaco e la Prof. Bice Conti, vari test biologici sono stati eseguiti per verificarne la biocompatibilità e altre proprietà.
- Caratterizzazione meccanica di materiali stampati 3D in funzione del pattern di deposizione e della composizione chimica del materiale.
- 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.

R. Dorati, A. De Trizio, S. Marconi, A. Ferrara, F. Auricchio, I. Genta, T. Modena, M. Benazzo, A. Benazzo, G. Volpato, B. Conti. Design of a Bioabsorbable Multilayered Patch for Esophagus Tissue Engineering, *Macromolecular Bioscience*, 17 (6) (2017).

G. Alaimo, S. Marconi, L. Costato, F. Auricchio. Influence of meso-structure and chemical composition on FDM 3D-printed parts, *Composites Part B: Engineering*, 113, pp. 371-380 (2017)

Marconi S, Alaimo G, Mauri V, Torre M, Auricchio F. "Impact of graphene reinforcement on mechanical properties of PLA 3D printed materials", Conference: 2017 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP) DOI 10.1109/IMWS-AMP.2017.8247414

**Bioprinting** (Dott. M. Conti, Dott.ssa S. Marconi, Prof. Auricchio, Comp-Mech Group).

L'attività consiste nella creazione di modelli biologici tramite stampa 3D di idrogel caricati con cellule tramite bioplotter (Cellink INKREDIBLE+) presso Laboratorio di Chirurgia Sperimentale.

Attività specifiche e collaborazioni.

1. Idrogel a base di sodio alginato e gelatina: è tra gli idrogel più utilizzati nell'ambito del bio-printing grazie alle sue diverse qualità quali biocompatibilità, basso costo, facile reperibilità e processo di reticolazione. Il gel, a diverse concentrazioni di sodio alginato e gelatina, è stato utilizzato come matrice per incapsulare diverse tipologie cellulari per realizzare modelli cellulari per applicazioni biologiche:
  - linea cellulare di neuroblastoma umano - SH-SY5Y (Collab. Prof.ssa Cereda – Ist. Casimiro Mondino, Pavia);
  - linea cellulare tumorale immortalizzata – HeLa (Collab. Prof.ssa Cereda – Ist. Casimiro Mondino, Pavia);
  - cellule staminali pluripotenti indotte – iPSCs (Collab. Prof.ssa Cereda – Ist. Casimiro Mondino, Pavia);
  - linea cellulare di mioblasti murini – C2C12 (Collab. Prof.ssa G. Cusella – Dip. Medicina Sperimentale, sez. Anatomia Umana e Centro di Ricerca Interdisciplinare di Ingegneria Tissutale, UniPV).
2. Idrogel a base di chitosano: come l'alginato e la gelatina, anche il chitosano è uno degli idrogel più utilizzati nell'ambito del bio-printing. Il chitosano è stato combinato con un secondo polimero naturale e ne è stata testata la *stampabilità*. L'obiettivo è quello di incapsulare una linea cellulare di fibroblasti per rigenerazione tissutale (Collab. Prof.ssa B. Conti and Prof. Pasini – Dip. di Scienze del Farmaco e Chimica, UniPV).
3. High Internal Phase Emulsion (HIPE): anche in questo caso è stata valutata la *stampabilità* del materiale al fine di realizzare scaffold di alta risoluzione e un elevato grado di complessità (Collab. Prof.ssa G. Massolini – Dip. di Scienze del Farmaco, UniPV).
4. Policaprolattone (PCL): fornito dalla ditta Cellink, il peso molecolare pari a 50 kDa, la temperatura di fusione pari a 130°C, il range di velocità di stampa compreso tra i 30 e i 60 mm/min, il range di pressione compreso tra i 450 e i 550 kPa. È stato utilizzato per realizzare scaffold 3D per la coltura di osteoblasti.

Pavia, 20 Marzo 2018

## **Allegato. Pubblicazioni 2017 citate nel testo**

### *DIPARTIMENTO di FISICA*

“All-Polymer Photonic Microcavities Doped with Perylene Bisimide J-Aggregates” P. Lova, V. Grande, G. Manfredi, M. Patrini, S. Herbst, F. Wurthner, D. Comoretto *Advanced Optical Materials* 5, 1700523 (2017).

“Coherent backscattering of Raman light” B. Fazio, A. Irrera, S. Pirotta, C. D'Andrea, S. Del Sorbo, M.J. Lo Faro, P. Gucciardi, M.A. Iati, R.; Saija, M. Patrini, P. Musumeci, C.S. Vasi, D. Wiersma, M. Galli, F. Priolo *Nature Photonics* 11, 170 (2017).

“Design of broadband and onidirectional antireflection coatings for III-V concentrating multifunction solar cells “ L. C. Andreani, M. Liscidini, M. Passoni, M. Patrini, G. Timò, F. Trespidi *Proceedings of 33<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy conference and exhibition, SPIE* (2017)

“The FA(1-x)MA(x)PbI(3) System: Correlations among Stoichiometry Control, Crystal Structure, Optical Properties, and Phase Stability” A. Pisanu, C. Ferrara, P. Quadrelli, G. Guizzetti, M. Patrini, C. Milanese, C. Tealdi, L. Malavasi *Journal of Physical Chemistry C* 121, 8746 (2017).

“Wide band-gap tuning in Sn-based hybrid perovskites through cation replacement: the FA(1-x)MA(x)SnBr(3) mixed system” C. Ferrara, M. Patrini, A. Pisanu, P. Quadrelli, C. Milanese, C. Tealdi, L. Malavasi *Journal of Materials Chemistry A* 5, 9391 (2017).

“Bulk surfaces coated with triangular silver nanoplates: antibacterial action based on silver release and photo-thermal effect” A. D'Agostino, A. Taglietti, R. Desando, M. Bini, M. Patrini, G. Dacarro, L. Cucca, P. Pallavicini, P. Grisoli, *Nanomaterials* 7, 7 (2017).

“Modular approach for bimodal antibacterial surfaces combining photo-switchable activity and sustained biocidal release” P. Pallavicini, B. Bassi, G. Chirico, M. Collini, G. Dacarro, E. Fratini, P. Grisoli, M. Patrini, L. Sironi, A. Taglietti, *Scientific Reports* 7, 5259 (2017).

“Photo-induced absorption spectra of a poly(p-phenylenevinylene) polymer with fluorinated double bonds” M. Burger, F. Floris, A. Cardone, G.M. Farinola, V. Morandi, F. Marabelli, D. Comoretto, *Organic Electronics* 43, 214-221 (2017).

### *DIPARTIMENTO di CHIMICA*

Sarfraz, J., Borzenkov, M., Niemelä, E., Weinberger, C., Törngren, B., Rosqvist, E., Collini, M., Pallavicini, P., Eriksson, J., Peltonen, J., Ihalainen, P., Chirico, G. “Photo-thermal and cytotoxic properties of inkjet-printed copper sulfide films on biocompatible latex coated substrates”, 2018, *Applied Surface Science*, 435, 1087-1095.

Pallavicini, P., Bassi, B., Chirico, G., Collini, M., Dacarro, G., Fratini, E., Grisoli, P., Patrini, M., Sironi, L., Taglietti, A., Moritz, M., Sorzabal-Bellido, I., Susarrey-Arce, A., Latter, E., Beckett, A.J., Prior, I.A., Raval, R., Diaz Fernandez, Y.A., “Modular approach for bimodal antibacterial surfaces combining photo-switchable activity and sustained biocidal release”, 2017, *Scientific Reports*, 7(1), 5259.

Dacarro, G., Grisoli, P., Borzenkov, M., Milanese, C., Fratini, E., Ferraro, G., Taglietti, A., Pallavicini, P., “Self-assembled monolayers of Prussian blue nanoparticles with photothermal effect”, 2017, *Supramolecular Chemistry*, 29(11), 823-833.

Pallavicini P., Arciola C.R., Bertoglio F., Curtosi S., Dacarro G., D'Agostino A., Ferrari F., Merli D., Milanese C., Rossi S., Taglietti A., Tenci M., Visai L. Silver nanoparticles synthesized and coated with pectin: an ideal compromise for anti-bacterial and anti-biofilm action combined with wound-healing properties. *Journal of Colloid and Interface Science*, 498, 271-281 (2017)

Dacarro, G., Pallavicini, P., Bertani, S.M., Chirico, G., D'Alfonso, L., Falqui, A., Marchesi, N., Pascale, A., Sironi, L., Taglietti, A., Zuddas, E., "Synthesis of reduced-size gold nanostars and internalization in SH-SY5Y cells", 2017, *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 1055-1064.

Sardo, C., Bassi, B., Craparo, E.F., Scialabba, C., Cabrini, E., Dacarro, G., D'Agostino, A., Taglietti, A., Giammona, G., Pallavicini, P., Cavallaro, G., "Gold nanostar-polymer hybrids for siRNA delivery: Polymer design towards colloidal stability and in vitro studies on breast cancer cells", 2017, *International Journal of Pharmaceutics*, 519(1-2), 113-124.

D'Agostino, A., Taglietti, A., Desando, R., Bini, M., Patrini, M., Dacarro, G., Cucca, L., Pallavicini, P., Grisoli, P., "Bulk surfaces coated with triangular silver nanoplates: Antibacterial action based on silver release and photo-thermal effect", 2017, *Nanomaterials*, 7(1), art. no. 7.

Ferrara, C., Dall'Asta, V., Berbenni, V., Quartarone, E., Mustarelli, P. Physicochemical Characterization of AlCl<sub>3</sub>-1-Ethyl-3-methylimidazolium Chloride Ionic Liquid Electrolytes for Aluminum Rechargeable Batteries (2017) *Journal of Physical Chemistry C*, 121 (48), pp. 26607-26614.

Dall'Asta, V., Berbenni, V., Mustarelli, P., Ravelli, D., Samorì, C., Quartarone, E. A biomass-derived polyhydroxyalkanoate biopolymer as safe and environmental-friendly skeleton in highly efficient gel electrolytes for lithium batteries (2017) *Electrochimica Acta*, 247, pp. 63-70.

Quartarone, E., Angioni, S., Mustarelli, P. Polymer and composite membranes for proton-conducting, high-temperature fuel cells: A critical review (2017) *Materials*, 10 (7), art. no. 687.

Catauro, M., Bollino, F., Cattaneo, A.S., Mustarelli, P. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> powders synthesized via sol-gel as pure raw material in geopolymer preparation (2017) *Journal of the American Ceramic Society* 100 (5), pp. 1919-1927.

Dall'Asta, V., Tealdi, C., Resmini, A., Anselmi Tamburini, U., Mustarelli, P., Quartarone, E. Influence of the ZnO nanoarchitecture on the electrochemical performances of binder-free anodes for Li storage (2017) *Journal of Solid State Chemistry* 247, pp. 31-38.

Giannici, F., Mossuto Marculescu, A., Cattaneo, A.S., Tealdi, C., Mustarelli, P., Longo, A., Martorana, A. Covalent and Ionic Functionalization of HLN Layered Perovskite by Sonochemical Methods (2017) *Inorganic Chemistry* 56 (1), pp. 645-653.

Angioni, S., Millia, L., Bruni, G., Ravelli, D., Mustarelli, P., Quartarone, E. Novel composite polybenzimidazole-based proton exchange membranes as efficient and sustainable separators for microbial fuel cells (2017) *Journal of Power Sources* 348, pp. 57-65.

Canu, G., Buscaglia, V., Ferrara, C., Mustarelli, P., Gonçalves Patrício, S., Batista Rondão, A.I., Tealdi, C., Marques, F.M.B. Oxygen transport and chemical compatibility with electrode materials in scheelite-type LaW<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>4+x/2</sub> ceramic electrolyte (2017) *Journal of Alloys and Compounds* 697, pp. 392-400.

Quinzeni, I., Capsoni, D., Berbenni, V., Mustarelli, P., Sturini, M., Bini, M. Stability of low-temperature Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub> cubic phase: The role of temperature and atmosphere (2017) *Materials Chemistry and Physics* 185, pp. 55-64.

C. Ferrara, M. Patrini, A. Pisanu, P. Quadrelli, C. Milanese, C. Tealdi, L. Malavasi, Wide Band-gap Tuning in Sn-based Hybrid Perovskites through Cation Replacement: Synthesis and Properties of the FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>SnBr<sub>3</sub> Mixed System, *J. Mater. Chem. A* (2017) 5, 9391

A. Pisanu, C. Ferrara, P. Quadrelli, G. Guizzetti, M. Patrini, C. Milanese, C. Tealdi, L. Malavasi, The FA<sub>1-x</sub>MA<sub>x</sub>PbI<sub>3</sub> System: Correlation between Stoichiometry Control, Crystal Structure, Optical Properties and Phase Stability, *J. Phys. Chem. C* (2017) 121,8746

P. Postorino, L. Malavasi, Pressure-Induced Effects in Organic-Inorganic Hybrid Perovskite, *J. Phys. Chem. Lett.* (2017) 8, 2613.

A. Bernasconi, L. Malavasi, Direct Evidence of Permanent Octahedra Distortion in MAPbBr<sub>3</sub> Hybrid Perovskite, *ACS Energy Letters* (2017) 2, 863

M. Sturini, A. Speltini, F. Maraschi, A. Profumo, L. Pretali, A. Albini, L. Malavasi, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-promoted degradation of ofloxacin antibiotic in natural waters under simulated sunlight *Environ Sci. Pollut. Res.* (2017) 24, 4153

A. Speltini, F. Maraschi, R. Govoni, C. Milanese, A. Profumo, L. Malavasi, M. Sturini "Facile and fast preparation of low-cost silica-supported graphitic carbon nitride for solid-phase extraction of fluoroquinolone drugs from environmental waters", *J. Chromatography A* (2017) 1489, 9

#### *DIPARTIMENTO di Ingegneria Industriale e dell'Informazione*

R. Marchetti, V. Vitali, C. Lacava, I. Cristiani, G. Giuliani, V. Muffato, M. Fournier, S. Abrate, R. Gaudino, E. Temporiti, L. Carroll, P. Minzioni\*, "Low-Loss Micro-Resonator Filters Fabricated in Silicon by CMOS-Compatible Lithographic Techniques: Design and Characterization" MDPI Applied Sciences Vol.7, Issue 2, 174, February 2017.

T. Yang, G. Nava, V. Vitali, F. Bragheri, R. Osellame, T. Bellini, I. Cristiani, P. Minzioni\*, "Integrated Optofluidic Chip for Low-Volume Fluid Viscosity Measurement" MDPI Micromachines Vol. 8, Issue 3, 65, February 2017.- Invited Paper -

R. Marchetti\*, V. Vitali, C. Lacava, I. Cristiani, B. Charbonnier, V. Muffato, M. Fournier, P. Minzioni, "Group-velocity dispersion in SOI-based channel waveguides with reduced-height" Optics Express Vol. 25, Issue 9, pp.9761-9767, April 2017.

P. Minzioni\*, R. Osellame, C. Sada, S. Zhao, F.G. Omenetto, K.B. Gylfason, T. Haraldsson, Y. Zhang, A. Ozcan, A. Wax, F. Mugele, H. Schmidt, G. Testa, R. Bernini, J. Guck, C. Liberale, K. Berg-Sørensen, J. Chen, M. Pollnau, S. Xiong, A.Q. Liu, C.C. Shiue, S.K. Fan, D. Erickson, D. Sinton, "Roadmap for Optofluidics", Journal of Optics Vol. 19, pp. 093003, August 2017. - Invited Paper -

T. Yang, K. Chen, P. Minzioni\*, "A Review on Optical Actuators for Microfluidic Systems", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 27, Issue 12, 123001, October 2017 - Invited Paper -

R. Marchetti, C. Lacava\*, A. Khokhar, X. Chen, I. Cristiani, D.J. Richardson, G.T. Reed, P. Petropoulos, P. Minzioni, "High-efficiency grating-couplers: demonstration of a new design strategy" Scientific Reports Vol. 7, 16670, 2017.

#### *DIPARTIMENTO di Scienze del Farmaco*

Bonferoni M. C., Sandri G., Rossi S., Usai D., Liakos I., Garzoni A., Fiamma M., Zanetti S., Athanassiou A., Caramella C., Ferrari. A novel ionic amphiphilic chitosan derivative as a stabilizer of nanoemulsions: Improvement of antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* essential oil. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, 152, 385-392 (2017)

Tenci M., Rossi S., Bonferoni M. C., Sandri G., Mentori I., Boselli C., Icaro Cornaglia A., Daglia M., Marchese A., Caramella C. M., Ferrari F. Application of DoE approach in the development of mini-capsules, based on biopolymers and manuka honey polar fraction, as powder formulation for the treatment of skin ulcers. *International Journal of Pharmaceutics*, 516, 266-277, (2017)

Rossi S., Vigani B., Puccio A., Bonferoni M. C., Sandri G., Ferrari F. Chitosan ascorbate nanoparticles for the vaginal delivery of antibiotic drugs in atrophic vaginitis. *Marine Drugs*, 15, 319-335 (2017)

Sandri G., Motta S., Bonferoni M.C., Brocca P., Rossi S., Ferrari F., Rondelli V., Cantù L., Caramella C., Del Favero E. Chitosan-coupled solid lipid nanoparticles: Tuning nanostructure and mucoadhesion. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 110, 13-18 (2017)

Vigani B., Rossi S., Sandri Giuseppina, Bonferoni M. C., Ferrari F. Design and criteria of electrospun fibrous scaffolds for the treatment of spinal cord injury. *Neural Regeneration Research*, 12(11), 1786-1790 (2017)

Sandri G., Aguzzi C., Rossi S., Bonferoni M. C., Bruni G., Boselli Cinzia, Icaro Cornaglia A., Riva F. Viseras C., Caramella C., Ferrari F. Halloysite and chitosan oligosaccharide nanocomposite for wound healing. *Acta Biomaterialia*, 57, 216-224 (2017)

Faccendini A., Vigani B., Rossi S., Sandri G., Bonferoni M.C., Caramella C.M., Ferrari F. Nanofiber scaffolds as drug delivery systems to bridge spinal cord injury. *Pharmaceuticals*, 10, article 63 (2017).

Bonferoni M. C., Rossi S., Sandri G., Ferrari F. Nanoparticle formulations to enhance tumor targeting of poorly soluble polyphenols with potential anticancer properties. *Seminars in Cancer Biology*, 46, 205-214 (2017)

Marciello M., Rossi S., Caramella C., Remunan Lopez C., Freeze-dried cylinders carrying chitosan nanoparticles for vaginal peptide delivery, *Carbohydrate Polymers*, 170, 43 – 51 (2017)

Amri B., Martino E., Vitulo F., Corana F., Ben-Kaab L.B., Rui M., Rossi D., Mori M., Rossi S., Collina S., *Marrubium vulgare* l. Leave extract: Phytochemical composition, antioxidant and wound healing properties, *Molecules*, 22 (11), Article number 1851 (2017)

Szilágyi B.Á., Gyarmati, B., Horvát G., Laki Á., Budai-Szücs M., Csányi E., Sandri G., Bonferoni M.C., Szilágyi A., The effect of thiol content on the gelation and mucoadhesion of thiolated poly(aspartic acid), *Polymer International*, 66, 1538-1545 (2017)

Budai-Szücs M., Horvát G., Gyarmati B., Szilágyi B.Á., Szilágyi A., Berkó S., Ambrus R., Szabó-Révész P., Sandri G., Bonferoni M.C., Caramella C., Csányi E., The effect of the antioxidant on the properties of thiolated poly(aspartic acid) polymers in aqueous ocular formulations, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 113, 178-187 (2017)

Rossi S., Ferrari F., Sandri G., Bonferoni M.C., Del Fante C, Perotti C., Wound healing: hemoderivatives and biopolymers, In: *Concise Encyclopedia of Biomedical Polymers and Polymeric Biomaterials*, 1642- 1660 DOI: 10.1081/E-EBPPC-120050387 © 2017 Taylor & Francis

De Trizio A., Srrisuk P., Costa R.R., Fraga A.G., Modena T., Genta I., Dorati R., Pedrosa J., Conti B., Correlo V.M., Reis R.L. Natural based eumelanin nanoparticles functionalization and preliminary evaluation as carrier for gentamicin. *React. Funct. Pol.*, 114, 38-48 (2017)

Dorati R., De Trizio A., Marconi S., Ferrara A., Auricchio F., Genta I., Modena T., Benazzo M., Benazzo A., Volpato G., Conti B. Design of a Bioabsorbable Multilayered Patch for Esophagus Tissue Engineering. *Macromol. Biosci.*, 17(6), article no. 1600426 (2017)

Dorati R., De Trizio A., Genta I., Merelli A., Modena T., Conti B. Gentamicin-Loaded Thermosetting Hydrogel and Moldable Composite Scaffold: Formulation Study and Biologic Evaluation. *J. Pharmaceut. Sci.*, 106 (6), 1596-1607 (2017)

Chiesa E., Monti L., Paganini C., Dorati R., Modena T., Conti B., Rossi A., Genta I. Polyethylene Glycol-Poly-Lactide-co-Glycolide Block Copolymer-Based Nanoparticles as a Potential Tool for Off-Label Use of N-Acetylcysteine in the Treatment of Diastrophic Dysplasia. *J. Pharmaceut. Sci.*, 106 (12), 3631-3641 (2017)

Dorati R., De Trizio A., Modena T., Conti B., Benazzo F., Gastaldi G., Genta I. Biodegradable scaffolds for bone regeneration combined with drug-delivery systems in osteomyelitis therapy. *Pharmaceuticals*, 10(4) article number 96 (2017)

Mandracchia D., Rosato A., Trapani A., Chlapanidas T., Montagner I.M., Perteghella S., Di Franco C., Torre M.L., Trapani G., Tripodo G. Design, synthesis and evaluation of biotin decorated inulin-based polymeric micelles as long-circulating nanocarriers for targeted drug delivery. *Nanomed.: Nanotech., Biol., Med.*, 13(3), 1245-1254 (2017)

Mandracchia D., Trapani A., Tripodo G., Perrone M.G., Giammona G., Trapani G., Colabufo N.A. In vitro evaluation of glycol chitosan based formulations as oral delivery systems for efflux pump inhibition. *Carbohydrate. Pol.*, 166, 73-82 (2017)

Perteghella S., Vigani B., Mastracci L., Grillo F., Antonioli B., Galuzzi M., Tosca M.C., Crivelli B., Preda S., Tripodo G., Marazzi M., Chlapanidas T., Torre M.L. Stromal vascular fraction loaded silk fibroin mats effectively support the survival of diabetic mice after pancreatic islet transplantation. *Macromol. Biosci.*, 17(9), Article number 1700131, 2017

Crivelli B., Chlapanidas T., Perteghella S., Lucarelli E., Pascucci L., Brini A.T., Ferrero I., Marazzi M., Pessina A., Torre M.L. Mesenchymal stem/stromal cell extracellular vesicles: From active principle to next generation drug delivery system. *J. Control. Rel.*, 262, 104-117 (2017)

Perteghella S., Martella E., De Girolamo L., Orfei C.P., Pierini M., Fumagalli V., Pintacuda D.V., Chlapanidas T., Viganò M., Faragò S., Torre M.L., Lucarelli E. Fabrication of innovative silk/alginate microcarriers for mesenchymal stem cell delivery and tissue regeneration. *Int. J. Mol. Sci.*, 18(9), Article number 1829 (2017)

Bari E., Arciola C.R., Vigani B., Crivelli B., Moro P., Marrubini G., Sorrenti M., Catenacci L., Bruni G., Chlapanidas T., Lucarelli E., Perteghella S., Torre M.L. In vitro effectiveness of microspheres based on silk sericin and *Chlorella vulgaris* or *Arthrospira platensis* for wound healing applications. *Materials*, 10(9), Article number 983 (2017)

Duchi S., Piccinini F., Pierini M., Bevilacqua A., Torre M.L., Lucarelli E., Santi S. A new holistic 3D non-invasive analysis of cellular distribution and motility on fibroin-alginate microcarriers using light sheet fluorescent microscopy. *PLoS ONE*, 12(8), Article number e0183336 (2017)

Perteghella S., Crivelli B., Catenacci L., Sorrenti M., Bruni G., Necchi V., Vigani B., Sorlini M., Torre M.L., Chlapanidas T. Stem cell-extracellular vesicles as drug delivery systems: New frontiers for silk/curcumin nanoparticles. *Int. J. Pharm.*, 520(1-2), 86-97 (2017)

Marto J., Sangalli C., Capra P., Perugini P., Ascenso A., Gonçalves L., Ribeiro H. Development and characterization of new and scalable topical formulations containing N-acetyl-d-glucosamine-loaded solid lipid nanoparticles. *Drug Dev. Ind. Pharm.*, 43(11), 1792-1800 (2017)