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

RELAZIONE di ATTIVITÀ 2021

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.

Le attività del Centro MADE durante l’anno 2021 sono state nuovamente rallentate dalla situazione di emergenza sanitaria e dalle limitazioni poste alla possibilità di frequentare regolarmente i laboratori per docenti, assegnisti, dottorandi. Tuttavia, rispetto all’anno precedente, il Centro ha ripreso e ampliato gli studi, sia fondamentali sia applicativi, in 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 risorse, sia umane sia strumentali. Si nota dalla relazione che siano in costante incremento le collaborazioni fra ricercatori con competenze complementari, accompagnate da un notevole inserimento in progetti di ricerca e collaborazioni anche con enti di ricerca, e con imprese nei settori di ricerca d’interesse.

Nel seguito sono 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 2021 in riviste internazionali ad essi riferite.

DIPARTIMENTO DI FISICA

Nel corso del 2021 l’attività è proseguita principalmente nelle seguenti linee di ricerca:

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

- studio della risposta ottica di materiali polimerici di nuova sintesi che realizzano riflettori di Bragg con il maggiore contrasto dielettrico sinora ottenuto, utilizzati per sensoristica ottica di vapori e per controllo/confinamento di radiazione nel visibile-NIR; combinazione dei suddetti con strati emettitori per realizzazione di OLED nel NIR; studio delle proprietà strutturali e ottiche di innovativi film in BCN, ottenuti da deposizione da fase vapore e altamente trasparenti nella regione visibile (*coll. D. Comoretto, Dip. Chim. Industriale, Univ. Genova, Max Planck Inst. Potsdam, Dip. Chimica UniPV, IIT Genova*);

- proprietà strutturali, morfologiche e ottiche di composti a perovskiti inorganiche $Cs_3X_2(I/Br)_9$ in film sottili depositati per RF sputtering, con sostituzione di X(Pb) con Bi e Sb e soglia di assorbimento ottico modulabile verso il NIR; risposta ottica di nanocristalli $Cs_2Sn(I/Br)_6$ in soluzione per emissione nel visibile, con caratterizzazione di morfologia e effetto di differenti ammine come leganti superficiali (*coll. L. Malavasi, Dip. Chimica*);

- caratterizzazione di film SiGeSn da crescita MOVPE per integrazione in strutture di cella solare a multi-giunzione; ottimizzazione di film sottili in ossidi SiO_2 , Ta_2O_5 e Nb_2O_5 e loro compositi come *coating* antiriflesso, al fine di rendere più efficiente l’assorbimento di radiazione nella regione spettrale visibile-NIR (*coll. RSE s.r.l.*);

- caratterizzazione della morfologia di micro- e nano-sistemi organici *in vitro* mediante microscopie a forza atomica ed elettronica (*coll. Dip. Chimica e Scienze del Farmaco*);
- studio di nanostrutture in silicio organizzate in sistemi periodici e quasi-periodici per la manipolazione delle proprietà di scattering (*coll. L. Dal Negro, Boston University*). L'attività ha subito un forte rallentamento, anche se si prevede una ripresa riguardante il completamento delle ricerche avviate in merito alla risposta ottica.

B. Progetto FITNESS E' proseguito il progetto per il dispositivo di *energy harvesting* da vibrazioni a bassa frequenza nel moto umano (*coll. Lab.energetica, Dip. Chimica, ATOM s.p.a., consulenti + imprese in NDA*); su questa linea è attivo in MADE un progetto a 42 mesi (2019-22), finanziato dall'Avviso congiunto di Fondazione Cariplo e Regione Lombardia sul tema dei Materiali Avanzati. In particolare a partire da materiali elastomeri e loro nanocompositi elettrostrittivi, si intende realizzare il circuito ed il dispositivo *energy harvester* e la piattaforma elettronica, da essi alimentata, associata a sensori per la raccolta di dati biometrici.

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

- strutture plasmoniche: la collaborazione con la spin off PLASMORE s.r.l. sulle strutture per sensoristica è proseguita e si va estendendo in direzione di un'integrazione di segnali in risonanza plasmonica e in fluorescenza. Nello specifico, nell'ambito del progetto h-ALO (Horizon2020) riguardante la detezione di contaminanti nella catena di produzione agro-alimentare (latte, miele, acque e birra), è proseguita la collaborazione con l'Istituto di Materiali Nanostrutturati (ISMN) del CNR di Bologna

L'altra linea di ricerca su metamateriali per applicazioni sensoristiche (Horizon2020: NOCTURNO), in collaborazione con BioSense Institute in Serbia e Advanced Science Research Center di New York, sta lentamente riprendendo dopo il forzato arresto a causa della pandemia. Lo studio riguarda gli effetti della nanostrutturazione sull'accoppiamento e l'enhancement di modi di superficie (BSW).

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

1) proprietà strutturali, ottiche ed elettroniche di ossidi funzionali. La ricerca ha riguardato lo studio di:

i) ferriti di magnesio drogate con argento, d'interesse per le applicazioni biomedicali grazie alle rilevanti proprietà antibatteriche. Lo studio combinato tramite diffrazione a raggi X, microscopia elettronica a scansione e spettroscopia microRaman ha permesso di evidenziare come l'attività antibatterica testata sia correlata alle dimensioni nanometriche dei grani e all'insorgere di fasi spurie quali ad esempio l'ematite; ferriti di manganese e sodio molto interessanti come materiali per catodi in batterie al sodio.

ii) ferriti di zinco nanostrutturate, con dimensione media dei grani di 5 nm, drogate con Mg o Ga, al fine di correlare le proprietà antiferromagnetiche, rilevanti ai fini applicativi per le proprietà strutturali e ottiche. In particolare è stata analizzato il grado di inversione Fe/Zn sui siti tetraedrici e ottaedrici e come questo possa essere determinato tramite misure di spettroscopia microRaman;

iii) Niobato di ferro, materiale anodico per batterie ad alta potenza agli ioni di litio; le nostre indagini hanno permesso in particolare di monitorare tramite spettroscopia microRaman la struttura reticolare durante i cicli di carica e scarica e di complementare i risultati analoghi ottenuti in diffrazione X presso la linea di misura del Sincrotrone Elettra.

2) la risposta Raman di film sottili di perovskiti inorganiche $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{X}_9$ ($\text{X} = \text{Br}, \text{I}$) depositate tramite RF-magnetron sputtering. Lo studio Raman ha permesso di evidenziare la purezza di fase dei film ottenuti, complementando i risultati da misure di assorbimento ottico, diffrazione a raggi X e quindi di meglio comprendere le proprietà fotocatalitiche dei sistemi indagati.

3) Studio della risposta SERS e dell'enhancement factor da substrati colloidali e vetrosi con nano-oggetti di metalli nobili (Ag, Au) realizzati presso il Laboratorio InLab del Dip. di Chimica; la risposta SERS è stata valutata anche al variare dei metodi di preparazione, della funzionalizzazione delle nanoparticelle e delle molecole utilizzate come Raman reporter. In particolare sono state realizzate misure per valutare la possibilità di monitoraggio di inquinanti emergenti nelle acque come antibiotici, pesticidi e microplastiche.

Nel corso del 2022, è prevista la continuazione delle linee di ricerca suddette, ed il loro ampliamento grazie ai progetti attivati (Hub Regione Lombardia e MIUR-PRIN) e alle crescenti collaborazioni di ricerca in corso. Le pubblicazioni 2021 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. E. Quartarone)

Nel corso del 2021 il gruppo di elettrochimica ed energetica della Sezione di Chimica Fisica si è occupato delle seguenti linee di ricerca:

- 1) preparazione massiva di dispersioni polimero/filler per la preparazione di film polimerici compositi per energy harvesting da vibrazioni a bassa frequenza nell'ambito del progetto FITNESS;
- 2) studi teorici e sperimentali di nuovi materiali catodici per batterie al litio a base di multimetallo di transizione;
- 3) messa a punto di protocolli di chimica verde per il recupero delle materie critiche primarie da batterie a litio a fine vita.

I risultati della attività scientifica sono stati rendicontati in pubblicazioni su riviste internazionali con referaggio, di cui alcune elencate nel seguito.

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

Nel corso del 2021 il gruppo di Chimica dei materiali della Sezione di Chimica Fisica si è occupato, tra gli altri argomenti, di:

1) sintesi e caratterizzazione di *metal halide perovskites* (MHP) per applicazioni fotocatalitiche. In particolare, sono state progettate e sintetizzate nuove fasi di perovskiti 2D prive di piombo (contenenti germanio e bismuto) con l'obiettivo di creare delle eterogiunzioni con altri semiconduttori fotoattivi noti (tipicamente $\text{g-C}_3\text{N}_4$) al fine di migliorare le prestazioni di questi ultimi rispetto allo sviluppo di idrogeno e la degradazione foto-assistita di inquinanti e biomasse. La creazione dell'eterogiunzione permette una migliore dinamica dei portatori di carica. I sistemi studiati sono stati $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9/\text{g-C}_3\text{N}_4$ e FenilBenzil $2\text{GeBr}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$ portando a produzioni di idrogeno di 10 o 20 volte superiori rispetto al solo $\text{g-C}_3\text{N}_4$. Lo studio del meccanismo di reazione e della stabilità in ambiente polare è stato realizzato attraverso un accoppiamento di tecniche spettroscopiche avanzate e computazionali. Tali fasi sono state anche utilizzate per catalizzare reazioni organiche.

2) Preparazione di film sottili di perovskiti lead-free mediante sputtering per fotorivelatori. In tale ambito la ricerca, in collaborazione con il dipartimento di Fisica, ci si è rivolti alla crescita in fase vapore di $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$ e $\text{Cs}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$ (sostituiti anche con iodio) per avviare ai

limiti delle sintesi wet-chemistry mediante spin-coating. Tali fasi sono state cresciute su substrati conduttivi con specifici pattern di elettrodi e sottoposti a misure di fotodetezione nel visibile, in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Exeter.

I risultati dell'attività per queste linee di ricerca sono riportati in sette pubblicazioni su riviste internazionali con revisori.

C. Nanochimica per le tecnologie e le applicazioni biomediche (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 2021 hanno riguardato le seguenti tematiche:

i) co-coating di nanoparticelle (NP) d'oro sferiche o a stella, con PEG stabilizzante e fluorofori, con lo scopo di ottenere *quenching* di fluorescenza e rilassamento termico per l'eccitazione sia delle bande di assorbimento dei fluorofori sia delle bande LSPR delle NP, con scopo finale ottenimento di nano-inchiostri per la stampa di pattern con responso fototermico per scrittura anticontraffazione.

ii) metodi per lo studio della cattura selettiva di NP in funzione di forma e dimensione: in particolare ci si è focalizzati sulla determinazione di protocolli adatti a quantificare la ricattura di NP sferiche di oro e argento con materiali silicei *imprinted* con cavità a dimensioni selettive, e sulla caratterizzazione chimico fisica dei materiali (imaging, determinazione della porosità, spettroscopie FT-IR per la determinazione del residuo organico post dissolvimento delle NP).

iii) materiali per lo *smart packaging* di alimenti: si è ottimizzato un film da fonti rinnovabili e compostabile, basato su carbossimetil cellulosa e pectina, contenente zeoliti (non nano) caricate con ioni Ag^+ e contenente anche carbossilati *antimold*. Del materiale è stato depositato un brevetto. Inoltre, si è sviluppato lo studio di nuovi film basati su altri materiali biodegradabili ma idrofobici (Policaprolattone), in cui incorporare zeoliti con cationi Cu^{2+} come batteriostatico e antimuffa.

iv) si è ulteriormente sviluppato l'utilizzo di NP d'oro non sferiche per applicazioni nel sensing con tecnologie Raman (SERS), via funzionalizzazione della superficie delle NP con recettori in grado di catturare specie ioniche e molecolari e in particolare inquinanti emergenti

Le pubblicazioni 2021 sono citate nel seguito. Nel 2022 tutte le 4 linee di ricerca saranno ulteriormente sviluppate per ottenere materiali e dispositivi.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL' INFORMAZIONE

Nel 2021 i progetti svolti presso il Dip. di Ing. Ind. Inf. ha mostrato una graduale ripresa della regolare attività, grazie al miglioramento della situazione sanitaria ed alla riduzione delle limitazioni poste alla possibilità di frequentare i laboratori. Nel seguito si riportano i principali ambiti investigati.

Nel corso dell'anno 2021 l'attività nel campo della microscopia nonlineare si è concentrata, in collaborazione col Dipartimento di Medicina Molecolare nell'ambito dello studio di terapie antitumorali, della caratterizzazione di molecole fotoattivabili, e misurando lo spettro e la sezione d'urto per il processo di assorbimento a due fotoni. Il possibile impiego di tali molecole è duplice, potendo essere sfruttate sia come fotosensibilizzanti per terapia fotodinamica, sia come fluorofori per imaging nonlineare.

Nell'ambito della caratterizzazione di materiali nonlineari, sono proseguiti gli studi di generazione di seconda armonica in strutture super-cristalline focalizzandosi sul legame col fenomeno della rifrazione gigante. E' stato dimostrato come l'andamento rispetto alla lunghezza d'onda dell'efficienza di conversione segua quello dell'indice di rifrazione, aprendo quindi nuove possibilità applicative per la conversione di frequenza ottica. Sono stati inoltre portati avanti studi di ottica nonlineare in sistemi multimodali, in particolare finalizzati alla creazione di sorgenti nel medio infrarosso a partire da sorgenti laser tipiche dei sistemi di comunicazione ottica.

In aggiunta, grazie alla collaborazione con ORC Southampton (UK), sono state studiate le regole di progettazione per la creazione di sistemi di processamento ottico dei segnali basati su effetti nonlineari a bassa potenza. In particolare, l'attenzione si è concentrata sullo studio di sistemi basati su giunzioni *p-i-n* accoppiate con guide d'onda in Silicio.

Nel campo della microfluidica sono state portate avanti due attività.

La prima attività ha riguardato l'analisi e dimostrazione di soluzioni utili a realizzare micro-reometri ottici utilizzando diverse configurazioni di forze ottiche, una basata su fasci laser in propagazione libera, e l'altra basata sull'utilizzo di fasci laser altamente focalizzati.

Uno dei due risultati principali ottenuti, ha riguardato la dimostrazione della possibilità di misurare tramite un microreometro ottico integrato materiali yield-stress e materiali con comportamento viscoso nonlineare. La struttura utilizzata in questo caso sfrutta la radiazione ottica, portata da una guida d'onda fino ad un microcanale, come attuatore per applicare uno sforzo controllato su opportune microsferesospese nel materiale in esame. Grazie alle forze che si producono all'interfaccia mezzo-microsfera, e ad un opportuno sistema di imaging in campo chiaro ed in fluorescenza, è possibile misurare con alta precisione come la deformazione del materiale dipenda dallo sforzo applicato. Questa attività è stata svolta in collaborazione con altri due centri italiani, in particolare l'Università degli studi di Milano e l'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR di Milano.

Il secondo risultato ha riguardato invece la messa a punto di un sistema innovativo, basato su trappole ottiche a singolo fascio, per eseguire misure di microreologia attiva e passiva multifrequenza. Nello specifico, la soluzione proposta utilizza un sistema di trappola ottica fissa, combinata ad un sistema di movimentazione controllato del campione all'interno del quale sono sospese delle microsferes di proprietà note. Grazie ad un nuovo approccio per la definizione del profilo temporale di posizione da applicare al campione, è stato possibile dimostrare l'analisi a banda larga delle proprietà microreologiche del materiale in un tempo molto breve.

La seconda attività in ambito microfluidico si è invece concentrata sullo studio di sistemi laser per l'analisi di nanoparticelle (singole ed aggregate) sospese all'interno di un fluido in movimento. In una prima fase della attività è stata valutata la possibilità di utilizzare il segnale di self-mixing prodotto in laser a semiconduttore. In questo caso si è dimostrata la possibilità di rivelare (grazie ad un fascio laser altamente focalizzato) anche il passaggio di oggetti con dimensione inferiore alla lunghezza d'onda utilizzata, ma si sono riscontrati dei problemi legati ad una elevata variabilità del segnale elettrico misurato. Successivamente, focalizzando l'attenzione solo sulla detezione di nanoparticelle aggregate, si è deciso di realizzare un sistema di detezione basato sulla diffusione di luce. In questo caso si è quindi utilizzato un fascio laser collimato ed un fotodiodo posto fuori dall'asse di propagazione del

fascio. Le analisi sono attualmente in corso e stanno permettendo di valutare i vantaggi e svantaggi delle diverse configurazioni.

Nell'ambito della biofotonica è stata inoltre svolta una attività in collaborazione con Harvard Medical School (HMS) e Massachusetts General Hospital (MGH), dedicata alla messa a punto di sistemi ottici di semplice utilizzo, e compatibili con le procedure comunemente adottate in ambito medico, per il trattamento di ferite profonde. I prototipi realizzati per questa attività sono attualmente in fase di test presso MGH.

Nel settore delle comunicazioni ottiche, l'attività svolta in collaborazione con le università di Southampton e Reading (UK) hanno riguardato la caratterizzazione di sistemi innovativi di trasmissione applicati alla "banda-O" delle comunicazioni ottiche, ovverosia quella composta dalle lunghezze d'onda comprese tra i 1260 ed il 1360 nm.

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DEL FARMACO

L'interdisciplinarietà connota l'attività di ricerca che si svolge presso il Dipartimento di Scienze del Farmaco, coinvolgendo sia gruppi di ricerca afferenti ad SSD 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 2021 presso il Dipartimento; nello specifico essa ha riguardato le seguenti tematiche:

1. micro- e nano- sistemi per il rilascio di farmaci e per applicazioni in ambito biomedico e veterinario;
2. allestimento e caratterizzazione di scaffolds per la medicina rigenerativa e terapie avanzate;
3. allestimento e/o impiego di "smart excipients" per applicazioni in ambito biomedico.

Le pubblicazioni del 2021 relative alle suddette tematiche sono elencate nel seguito.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

Di seguito si riporta la descrizione delle attività nei campi di ricerca d'interesse, specificando le collaborazioni; le relative pubblicazioni 2021 sono riportate in allegato.

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 (*coll. D. Lagoudas, TAMU*) e meccanico (*coll. C. Maletta, Unical - F. Niccoli, CERN*).

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 ampliare il campo di applicazione (*coll. D. Dondi, Ing. D. Savio Branciforti – Dipartimento di Chimica*).

Studio e sviluppo di materiali per stampa 3D (S. Marconi, S. Morganti, G. Scalet, 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 (*coll. S. Pandini, UniBS*); modellazione e prototipazione tramite stampa 4D di componenti in polimeri a memoria di forma per attuazione soffice e applicazioni farmaceutiche (*coll. S. Pandini, UniBS - S. Magdassi, Hebrew Univ Jerusalem*); caratterizzazione di materiali stampati 3D in PLA caricato con nanoparticelle di grafene; 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 (*coll. U. Tamburini-Anselmi, Dip. Chimica*); 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 nel campo delle microonde (S. Marconi, F. Auricchio, Comp-Mech Group)

L'attività comprende lo studio e la realizzazione di componenti elettronici destinati all'applicazione nel campo delle microonde, come ad esempio: produzione di componenti in con tecnologia FDM in vari materiali (poliuretano termoplastico, ABS), tramite tecnologia binder jetting con polvere di gesso, oppure in resina fotopolimerica (con stampa SLA e Material Jetting). Alcuni componenti sono sottoposti a successiva metallizzazione. Sviluppo di profili di stampa di materiali a carica ceramica e loro applicazione. (*coll. M. Bozzi, L. Perregrini, M. Pasian – Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, azienda Premix-Preperm*).

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 della Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo di Pavia (*principali collaborazioni: A. Pietrabissa, M. Benazzo, P. Canzi, P. Totaro, F. Benazzo, M. Ghiara, F. De Grazia*).

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

L'attività consiste nella stampa 3D di idrogel all'interno dei quali sono incorporate componenti biologiche (e.g. cellule, proteine, geni e farmaci), al fine di realizzare modelli 3D

da applicare nell'ambito biologico-biotecnologico, medicina rigenerativa, ingegneria tissutale. Di seguito si elencano le attività di BioP in corso. Realizzazione di strutture 3D cellulari per modellizzare la fisiologia della fibra muscolare (*collab. G. Cusella, UniPV*) e del tessuto osseo (*collab. IRCCS San Matteo, PV*). Co-stampa di strutture ibride costituite da materiali termoplastici e idrogel per realizzare sistemi di rilascio controllati nel tempo (*collab. M. Torre, UniPV*). Realizzazione di modelli 3D per lo studio in vitro dell'osteosarcoma (*collab. C. Ferrari, F. Riva UniPV*) e di giunzione neuromuscolare per studiare malattie neurodegenerative (*collab. C. Cereda, IRCCS Mondino, PV*). Formulazione di bioink a base di matrice decellularizzata di fegato per realizzare una piattaforma da usare come drug screening per patologie epatiche (*collab. M. Torre, UniPV e IRCCS San Matteo, PV*). Caratterizzazione di idrogel a base di gelatina per l'analisi delle proprietà meccaniche (*collab. IRCC Centro Cardiologico Monzino, MI*) e delle performance di stampa (*L. Russo, Università Milano Bicocca, MI*). Produzione di dati sperimentali per modellizzare, tramite tecniche computazionali, i processi legati all'ambito del BioP (*Collab. M. Marino, Università Roma Tor Vergata*) e sviluppo di materiali polimerici 3D innovativi (polyHIPE - l'High Internal Phase Emulsion) da utilizzare come *drug delivery system* e come scaffold per colture cellulari (*collab. G. Massolini, UniPV*). Dalle attività derivanti da quest'ultima collaborazione è stata costituita una start-up innovativa, P4P s.r.l., a oggi accreditata ufficialmente come spin-off dell'Università di Pavia.

Sintesi ed utilizzo di reti in TiO₂ per il trattamento delle acque (M.C. Collivignarelli, TEC_{2.0} Lab)

Tra i trattamenti avanzati delle acque (AOPs), l'interesse per la fotoelettrocatalisi è crescente. L'attività comprende la sintesi (*coll. Prof. S. Franz e Prof. M. Bestetti, Politecnico di Milano*) di catalizzatori in TiO₂ al fine di testare ed ottimizzare il processo di fotoelettrocatalisi su acque potabili, acque reflue industriali ed effluenti di impianti di depurazione. In quest'ultimo caso con lo scopo di valutare l'efficacia del trattamento come finissaggio in vista di un potenziale recupero degli effluenti in un'ottica di economia circolare.

Pavia, 25 Marzo 2022

Allegato. Pubblicazioni 2021 dei principali gruppi di ricerca referenti nei Dipartimenti

DIPARTIMENTO di FISICA

A. Minotto, I. Bulut, A. G. Rapidis, G. Carnicella, M. Patrini, E. Lunedei, H. L. Anderson, F. Cacialli
Towards efficient near-infrared fluorescent organic light-emitting diodes,
Light: Science & Applications 10, 18 (2021)

H. Megahd, C. Oldani, S. Radice, M. Patrini, P. Lova, D. Comoretto, *Aquivion®-Poly(N-vinylcarbazole) Distributed Bragg Reflectors as Holistic Flory-Huggins Photonic Vapor Sensors*
Advanced Optical Materials 9, 2002006 (2021)

M. Agnes, A. Arabi, M. Caricato, A. Nitti, D. Dondi, K. Yannakopoulou, M. Patrini and D. Pasini
Helical Nanofibers Formed by Palladium-Mediated Assembly of Organic Homochiral Macrocycles Containing Binaphthyl and Pyridyl Units
Chem Plus Chem 86, 270 (2021)

G. Timò, M. Calicchio, G. Abagnale, N. Armani, E. Achilli, M. Cornelli, F. Annoni, N. Cstagnetti, M. Patrini, L.C. Andreani, L. Nasi, B. Schineller
Results on MOVPE SiGeSn deposition for the monolithic integration of II_v and IV elements in multi junction solar cells
Solar energy materials & Solar cells 224, 111016 (2021)

A. Veronese, C. Ciarrocchi, M. Marelli, P. Quadrelli, M. Patrini, L. Malavasi
Morphological and Optical Tuning of Lead-Free Cs₂SnX₆ (X = I, Br) Perovskite Nanocrystals by Ligand Engineering
Frontiers in Electronics 2, 703182 (2021)

P. Giusto, D. Cruz, T. Hell, N. Tarakina, M. Patrini and M. Antonietti
Chemical Vapor Deposition of Highly Conjugated, Transparent Boron Carbon Nitride Thin Films
Advanced Science 8, 2101602 (2021)

S. Bonomi, P. Galinetto, M. Patrini, L. Romani, L. Malavasi
Optical and Structural Property Tuning in Physical Vapor Deposited Bismuth Halides Cs₃Bi₂(I_{1-x}Br_x)₉ (0 ≤ x ≤ 1)
Inorganic Chemistry 60, 14142 (2021)

D. Spada, B. Albini, P. Galinetto, D. Versaci, C. Francia, S. Bodoardo, G. Bais, M. Bini
FeNb₁₁O₂₉, anode material for high-power lithium-ion batteries: Pseudocapacitance and symmetrisation unravelled with advanced electrochemical and in situ/operando techniques
Electrochem. Acta 393, 139077 (2021)

G. Gazzola, M. Ambrosetti, M.C. Mozzati, B. Albini, P. Galinetto, M. Bini
Tuning the superparamagnetic effect in ZnFe₂O₄ nanoparticles with Mg, Ga doping
Mater. Chem. Phys. 273, 125069 (2021)

E. Fantozzi, E. Rama, C. Calvio, B. Albini, P. Galinetto, M. Bini
Silver Doped Magnesium Ferrite Nanoparticles: Physico-Chemical Characterization and Antibacterial Activity
Materials 14, 11, 2859 (2021)

L. Fornasari, M. Passoni, F. Marabelli, Y. Chen, Y. Wang, L. Dal Negro
Angular dependence and absorption properties of the anapole mode of Si nano-disks
Journal of Applied Physics, 129 (2), art. no. 023102. (2021)

M. Prosa, E. Benvenuti, D. Kallweit, P. Pellacani, M. Toerker, M. Bolognesi, L. Lopez-sanchez, V. Ragona, F. Marabelli, and S. Toffanin
Organic Light-Emitting Transistors in a Smart-Integrated System for Plasmonic-Based Sensing.
Advanced Functional Materials, 31, 2104927 (2021).

DIPARTIMENTO di CHIMICA

M Farina, BB Duff, C Tealdi, A Pugliese, F Blanc, E Quartarone
Li+ Dynamics of Liquid Electrolytes Nanoconfined in Metal–Organic Frameworks
ACS Applied Materials & Interfaces 13, 53986-53995 (2021)

C Ferrara, R Ruffo, E Quartarone, P Mustarelli
Circular Economy and the Fate of Lithium Batteries: Second Life and Recycling
Advanced Energy and Sustainability Research 2, 2100047 (2021)

P Ghigna, E Quartarone
Operando x-ray absorption spectroscopy on battery materials: a review of recent developments
Journal of Physics: Energy

D Callegari, S Colombi, A Nitti, C Simari, I Nicotera, C Ferrara, P. Mustarelli, D. Pasini, E. Quartarone
Autonomous Self-Healing Strategy for Stable Sodium-Ion Battery: A Case Study of Black Phosphorus Anodes
ACS Applied Materials & Interfaces 13, 13170-13182 (2021)

L. Romani, A. Speltini, C. N. Dibenedetto, A. Listorti, F. Ambrosio, E. Mosconi, A. Simbula, M. Saba, A. Profumo, P. Quadrelli, F. De Angelis, L. Malavasi
Experimental Strategy and Mechanistic View to Boost the Photocatalytic Activity of Cs₃Bi₂Br₉ Lead-Free Perovskite Derivative by g-C₃N₄ Composite Engineering
Advanced Functional Materials (2021) 2104428

L. Romani, A. Speltini, F. Amborsio, E. Mosconi, A. Profumo, S. Margadonna, A. Milella, F. Fracassi, A. Listorti, F. De Angelis, L. Malavasi
Water-Stable DMA₂SnBr₃ Lead-Free Perovskite for Effective Solar-Driven Photocatalysis
Angew. Chem. Int. Ed. (2021) 60, 3611-3618

R. Chiara, M. Morana, M. Boiocchi, M. Coduri, M. Striccoli, F. Fracassi, A. Listorti, A. Mahata, P. Quadrelli, M. Gaboardi, C. Milanese, L. Bindi, F. De Angelis, L. Malavasi
Role of Spacer Cations and Structural Distortion in Two-Dimensional Germanium Halide Perovskites
J. Mater. Chem. C (2021) 9, 9899-9906

S. Bonomi, P. Galinetto, M. Patrini, L. Romani, L. Malavasi
Optical and Structural Property Tuning in Physical Vapor Deposited Bismuth Halides Cs₃Bi₂(I_{1-x}Br_x)₉ (0 ≤ x ≤ 1)
Inorg. Chem. (2021) 60, 14142-14150

R. Chiara, M. Morana, L. Malavasi
Germanium-based Halide Perovskites: Materials, Properties, and Applications
ChemPlusChem (2021), 86, 879-888

M. Corti, S. Bonomi, R. Chiara, L. Romani, P. Quadrelli, L. Malavasi
Application of Metal Halide Perovskites as Photocatalysts in Organic Reactions,
Inorganics (2021) 9, 56

A. Veronese, C. Ciarrocchi, M. Marelli, P. Quadrelli, M. Patrini, L. Malavasi
Morphological and Optical Tuning of Lead-Free Cs₂SnX₆ (X=I,Br) Perovskite Nanocrystals by Ligand Engineering
Frontiers in Electronics (2021) 2

S. Stucchi, D. Colombo, R. Guizzardi, A. D'Aloia, M. Collini, M. Bouzin, B. Costa, M. Ceriani, A. Natalello, P. Pallavicini, L. Cipolla
Squarate Cross-Linked Gelatin Hydrogels as Three-Dimensional Scaffolds for Biomedical Applications
Langmuir 2021, 37, 48, 14050–14058

G. Toci, F. Olgiati, P. Pallavicini, Y. A. Diaz Fernandez, L. De Vita, G. Dacarro, P. Grisoli, A. Taglietti
Gold Nanostars Embedded in PDMS Films: A Photothermal Material for Antibacterial Applications
Nanomaterials 2021, 11(12), 3252

P. Pallavicini, G. Chirico, A. Taglietti
Harvesting light to produce heat: photothermal nanoparticles for technological applications and biomedical devices
Chemistry Eur J. 2021, 27, 15361–15374

P. Grisoli, L. De Vita, C. Milanese, A. Taglietti, Y. Diaz Fernandez, M. Bouzin, L. D'Alfonso, L. Sironi, S. Rossi, B. Vigani, P. Sperandeo, A. Polissi, P. Pallavicini
PVA Films with Mixed Silver Nanoparticles and Gold Nanostars for Intrinsic and Photothermal Antibacterial Action
Nanomaterials 2021, 11, 1387

A. Zeynalia, M. Marini, M. Collini, M. Bouzin, L. Sironi, L. D'Alfonso, P. Pallavicini, G. Chirico
Multiphoton Fabrication of Flexible Photo-thermally Active Proteinaceous Microstructures
Chemical Engineering Transactions, 2021, 84, 235-240

A. Taglietti, P. Pallavicini e G. Dacarro
Prussian Blue and Its Analogs as Novel Nanostructured Antibacterial Materials
Appl. Nano 2021, 2, 85–97

DIPARTIMENTO di INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE

R Kumar, V Vitali, T Wiedemann, R Meissner, P Minzioni, C Denz “*Multi-frequency passive and active microrheology with optical tweezers*”, Scientific Reports Vol. 11, 13917, 2021
DOI: 10.1038/s41598-021-93130-x

V Vitali, G Nava, A Corno, M Pezzotti, F Bragheri, P Paiè, R Osellame, M.A. Ortenzi, I. Cristiani, P. Minzioni, T. Bellini, G. Zanchetta “*Yield stress “in a flash”: investigation of nonlinearity and yielding in soft materials with an optofluidic microrheometer*” Soft Matter 17, 3105-3112, 2021
DOI: 10.1039/D0SM02168G

N. Taengnoi, K.R. Bottrill, Y. Hong, N.K. Thipparapu, C. Lacava, J.K. Sahu, D.J. Richardson, P. Petropoulos “*4-Level Alternate-Mark-Inversion for Reach Extension in the O-Band Spectral Region*” Journal of Lightwave Technology, 39(9), 2847-2853, 2021
DOI: 10.1109/JLT.2021.3062446

Y. Franz, J. Haines, C. Lacava, M. Guasoni “*Strategies for wideband light generation in nonlinear*

multimode integrated waveguides” Physical Review A, 103(1), 013511, 2021.
DOI: 10.1103/PhysRevA.103.013511

Falsi L., Tartara L., Di Mei F., Flammini M., Parravicini J., Pierangeli D., Parravicini G.B., Di Porto P., Xin F., Agranat A.J., DelRe E. “*Constraint-free wavelength conversion supported by giant refraction in a 3D perovskite Super-Crystal*” (2021) Optics InfoBase Conference Papers

V Vital, H Liu, I Demirtzioglou, C Lacava, K.R.H. Bottrill, X. Yan, H. Du, M. Banakar, D. Tran, C.G. Littlejohns, D.J. Thomson, P. Petropoulos “*Design Rules for Low Electrical Power Consumption in Nonlinear Silicon Waveguides with Active Carrier Removal*” IEEE 2021 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)

DIPARTIMENTO di SCIENZE del FARMACO

Rosalia, M., Ravipati, P., Grisoli, P., Dorati, R., Genta, I., Chiesa, E., Bruni, G., Conti, B., “*Tobramycin supplemented small-diameter vascular grafts for local antibiotic delivery: A preliminary formulation study*”. International Journal of Molecular Sciences, 22(24), art. no.13557. doi: 10.3390/ijms222413557

Pisani, S., Friuli, V., Conti, B., Bruni, G., Maggi, L., “*Tableted hydrophilic electrospun nanofibers to promote meloxicam dissolution rate*”. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 66,102878. doi: 10.1016/j.jddst.2021.102878

Bavaro, T., Tengattini, S., Rezwani, R., Chiesa, E., Temporini, C., Dorati, R., Massolini, G., Conti, B., Ubiali, D., Terreni, M., “*Design of epidermal growth factor immobilization on 3D biocompatible scaffolds to promote tissue repair and regeneration*”. Scientific Reports, 11(1),2629. doi: 10.1038/s41598-021-81905-1

Chiesa, E., Greco, A., Riva, F., Dorati, R., Conti, B., Modena, T., Genta, I.,” *Hyaluronic acid-based nanoparticles for protein delivery: Systematic examination of microfluidic production conditions*”. Pharmaceutics, 13(10),1565. doi: 10.3390/pharmaceutics13101565

Ballacchino, G., Weaver, E., Mathew, E., Dorati, R., Genta, I., Conti, B., Lamprou, D.A., “*Manufacturing of 3d-printed microfluidic devices for the synthesis of drug-loaded liposomal formulations*. International Journal of Molecular Sciences, 22(15), 8064. doi: 10.3390/ijms22158064

Dorati, R., Chiesa, E., Rosalia, M., Pisani, S., Genta, I., Bruni, G., Modena, T., Conti, B., “*Tubular electrospun vancomycin-loaded vascular grafts: Formulation study and physicochemical characterization*”. Polymers, 13(13),2073. doi: 10.3390/polym13132073

Pisani, S., Dorati, R., Genta, I., Benazzo, M., Conti, B., Prina Mello, A., “*A study focused on macrophages modulation induced by the Polymeric Electrospun Matrices (EL-MS) for application in tissue regeneration: In vitro proof of concept*”. International Journal of Pharmaceutics, 603, 120712. doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.120712

Chiesa, E., Greco, A., Dorati, R., Conti, B., Bruni, G., Lamprou, D., Genta, I., “*Microfluidic-assisted synthesis of multifunctional iodinated contrast agent polymeric nanoplatfoms*”. International Journal of Pharmaceutics, 599, 120447. doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.120447

Dorati, R., Pisani, S., Chiesa, E., Genta, I., Bruni, G., Modena, T., Conti, B., “*Electrospun tubular vascular grafts to replace damaged peripheral arteries: A preliminary formulation study*”. International Journal of Pharmaceutics, 596, 120198. doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.120198

Akhtar, M.A., Mariotti, C.E., Conti, B., Boccaccini, A.R., "Electrophoretic deposition of ferulic acid loaded bioactive glass/chitosan as antibacterial and bioactive composite coatings". *Surface and Coatings Technology*, 405, 126657. doi: 10.1016/j.surfcoat.2020.126657

Basile, S., Mathew, E., Genta, I., Conti, B., Dorati, R., Lamprou, D.A., "Optimization of FDM 3D printing process parameters to produce haemodialysis curcumin-loaded vascular grafts". *Drug Delivery and Translational Research*, Oct 2021. doi: 10.1007/s13346-021-01078-2

Guerini, M., Grisoli, P., Pane, C., Perugini, P., "Microstructured lipid carriers (MLC) based on N-acetylcysteine and chitosan preventing *Pseudomonas Aeruginosa* biofilm". *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 891. doi: 10.3390/ijms22020891

Maggi, L., Friuli, V., Perugini, P., Musitelli, G., Venco, L., "Dosage variability of veterinary drug products, containing furosemide, linked to tablet splitting". *Open Veterinary Journal*, 11(3), 47. doi: 10.5455/OVJ.2021.V11.I3.21

Mocchi, M., Bari, E., Dotti, S., Villa, R., Berni, P., Conti, V., Del Bue, M., Squassino, G.P., Segale, L., Ramoni, R., Torre, M.L., Perteghella, S., Grolli, S., "Canine mesenchymal cell lyosecretome production and safety evaluation after allogenic intraarticular injection in osteoarthritic dogs". *Animals*, 11(11),3271. doi: 10.3390/ani11113271

Bari, E., Tartara, F., Cofano, F., Di Perna, G., Garbossa, D., Perteghella, S., Sorlini, M., Mandracchia, D., Giovannelli, L., Gaetani, P., Torre, M.L., Segale, L., "Freeze-dried secretome (Lyosecretome) from mesenchymal stem/stromal cells promotes the osteoinductive and osteoconductive properties of titanium cages". *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8445. doi: 10.3390/ijms22168445

Mocchi, M., Grolli, S., Dotti, S., Di Silvestre, D., Villa, R., Berni, P., Conti, V., Passignani, G., Brambilla, F., Del Bue, M., Catenacci, L., Sorrenti, M., Segale, L., Bari, E., Mauri, P., Torre, M.L., Perteghella, S., "Equine mesenchymal stem/stromal cells freeze-dried secretome (Lyosecretome) for the treatment of musculoskeletal diseases: Production process validation and batch release test for clinical use". *Pharmaceutics*, 14(6), 553. doi: 10.3390/ph14060553

Bari, E., Ferrarotti, I., Saracino, L., Perteghella, S., Torre, M.L., Richeldi, L., Corsico, A.G., "Mesenchymal stromal cell secretome for post-covid-19 pulmonary fibrosis: A new therapy to treat the long-term lung sequelae?". *Cells*, 10(5), 1203. doi: 10.3390/cells10051203

Perteghella, S., Rasso, G., Gavini, E., Obinu, A., Bari, E., Mandracchia, D., Bonferoni, M.C., Giunchedi, P., Torre, M.L., "Crocetin as new cross-linker for bioactive sericin nanoparticles". *Pharmaceutics*, 13(5), 680. Doi: 10.3390/pharmaceutics13050680

Bari, E., Roato, I., Perale, G., Rossi, F., Genova, T., Mussano, F., Ferracini, R., Sorlini, M., Torre, M.L., Perteghella, S., "Biohybrid bovine bone matrix for controlled release of mesenchymal stem/stromal cell lyosecretome: A device for bone regeneration". *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8), 4064. doi: 10.3390/ijms22084064

Bari, E., Serra, M., Paolillo, M., Bernardi, E., Tengattini, S., Piccinini, F., Lanni, C., Sorlini, M., Bisbano, G., Calleri, E., Torre, M.L., Perteghella, S., "Silk fibroin nanoparticle functionalization with arg-gly-asp cyclopentapeptide promotes active targeting for tumor site-specific delivery". *Cancers*, 13(5), 1185. doi: 10.3390/cancers13051185

Bari, E., Cascino, F.C., Foglio, L., Proietti, L., Perteghella, S., Torre, M.L., Parati, K., "Alternative culture media and cold-drying for obtaining high biological value *Arthrospira platensis* (Cyanobacteria)". *Phycologia*, 60(3), 237. doi: 10.1080/00318884.2021.1899545

Bari, E., Scocozza, F., Perteghella, S., Sorlini, M., Auricchio, F., Torre, M.L., Conti, M., "3d bioprinted scaffolds containing mesenchymal stem/stromal lyosecretome: Next generation controlled release device for bone regenerative medicine". *Pharmaceutics*, 13(4), 515. doi: 10.3390/pharmaceutics13040515

Vigani, B., Valentino, C., Sandri, G., Listro, R., Fagiani, F., Collina, S., Lanni, C., Bonferoni, M.C., Caramella, C.M., Rossi, S., Ferrari, F., "A composite nanosystem as a potential tool for the local treatment of glioblastoma: chitosan-coated solid lipid nanoparticles embedded in electrospun nanofibers". *Polymers* 13, 1371. doi: 10.3390/polym13091371

Ruggeri, M., Bianchi, E., Rossi, S., Boselli, C., Icaro Cornaglia, A., Malavasi, L., Carzino, R., Suarato, G., Sanchez-Espejo, R., Athanassiou, A., Viseras, C., Ferrari, F., Sandri, G., "Maltodextrin-amino acids electrospun scaffolds cross-linked with Maillard-type reaction for skin tissue engineering". *Materials Science and Engineering C*, 112593. doi: 10.1016/j.msec.2021.112593

Grisoli, P., De Vita, L., Milanese, C., Taglietti, A., Fernandez, Y.D., Bouzin, M., D'Alfonso, L., Sironi, L., Rossi, S., Vigani, B., Sperandeo, P., Polissi, A., Pallavicini, P., "PVA films with mixed silver nanoparticles and gold nanostars for intrinsic and photothermal antibacterial action". *Nanomaterials* 11, 1387. doi: 10.3390/nano11061387

Faccendini, A., Bianchi, E., Ruggeri, M., Vigani, B., Perotti, C., Pavesi, C., Caliozna, L., Natali, F., Del Favero, E., Cantù, L., Ferrari, F., Rossi, S., Sandri, G., "Smart device for biologically enhanced functional regeneration of osteo-tendon interface". *Pharmaceutics* 13, 1996. doi: 10.3390/pharmaceutics13121996

Miele, D., Xia X., Catenacci, L., Sorrenti, M., Rossi, S., Sandri, G., Ferrari, F., Rossi, J.J., Bonferoni, M.C., "Chitosan oleate coated PLGA nanoparticles as siRNA drug delivery systems", *Pharmaceutics* 13, 1716. doi: 10.3390/pharmaceutics13101716

Ruggeri, M., Pavan, M., Soato, M., Panfilo, S., Barbera, C., Galesso, D., Miele, D., Rossi, S., Lucia, A.D., Ferrari, F., Sandri, G., "Synergy of hyaluronic acid and hyaluronidase for protecting and restoring urothelium: In vitro characterization", *Pharmaceutics* 13, 1450. doi: 10.3390/pharmaceutics13091450

Milanesi, G., Vigani, B., Rossi, S., Sandri, G., Mele, E., "Chitosan-coated poly(lactic acid) nanofibers loaded with essential oils for wound healing", *Polymers* 13, 2582. doi: 10.3390/polym13162582

Vigani, B., Valentino, C., Cavalloro, V., Catenacci, L., Sorrenti, M., Sandri, G., Bonferoni, M.C., Bozzi, C., Collina, S., Rossi, S., Ferrari, F., "Gellan-based composite system as a potential tool for the treatment of nervous tissue injuries: Cross-linked electrospun nanofibers embedded in a RC-33-loaded freeze-dried matrix", *Pharmaceutics* 13, 164. doi: 10.3390/pharmaceutics13020164

Massaro, M., Borrego-Sanchez, A., Sanchez-Espejo, R., Visera Iborra, C., Cavallaro, G., Garcia-Villan, F., Guernelli, S., Lazzara, G., Miele, D., Sainz-Diaz, I., Sandri, G., RIELA, S., "Ciprofloxacin carrier system based on hectorite/halloysite hybrid hydrogels for potential wound healing applications". *Applied Clinical Sciences* 215, 106310. doi: 10.1016/j.clay.2021.106310

Budai-Szucs, M., Ruggeri, M., Faccendini, A., Léber, A., Rossi, S., Varga, G., Bonferoni, M.C., Vályi, P., Burián, K., Csányi, E., Sandri, G., Ferrari, F., "Electrospun scaffolds in periodontal wound healing". *Polymers* 13, 307. doi: 10.3390/polym13020307

Stigliano, P.L., Pianta, N., Bonizzoni, S., Simonutti, R., Lorenzi, R., Vigani, B., Berbenni, V., Rossi, S., Mustarelli, P., Ruffo, R., "A physico-chemical investigation of highly concentrated potassium acetate

solutions towards applications in electrochemistry”. *Physical Chemistry Chemical Physics* 23, 1139-1145. doi: 10.1039/d0cp04151c

Varrica, C., Carvalheiro, M., Faria-Silva, C., Eleuterio, C., Sandri, G., Simoes, S., “Topical allopurinol-loaded nanostructured lipid carriers: A novel approach for wound healing management”. *Bioengineering* 8 (12), 192. doi: 10.3390/bioengineering8120192

Lenzuni, M., Suarato, G., Miele, D., Carzino, R., Ruggeri, M., Bertolotti, R., Sandri, G., Athanassiou, A. Development of biodegradable zein-based bilayer coatings for drug eluting stents. *RSC Advances* 11 (39), 24345-24358. doi: 10.1039/D1RA03748J

Bianchi, E., Ruggeri, M., Rossi, S., Vigani, B., Miele, D., Bonferoni, M.C., Sandri, G., Ferrari, F., “Innovative strategies in tendon tissue engineering”, *Pharmaceutics* 13, 1. doi: 10.3390/pharmaceutics13010089

Sommi, P., Vitali, A., Coniglio, S., Callegari, D., Barbieri, S., Casu, A., Falqui, A., Viganò, L., Vigani, B., Ferrari, F., Anselmi Tamburini, U., “Microvilli Adhesion: An Alternative Route for Nanoparticle Cell Internalization”. *ACS Nano* 15 (10), 15803 – 15814. doi: 10.1021/acsnano.1c03151

Rassu, G., Sorrenti, M., Catenacci, L., Pavan, B., Ferraro, L., Gavini, E., Bonferoni, M.C., Giunchedi, P., Dalpiaz, A., “Versatile nasal application of cyclodextrins: Excipients and/or actives?” *Pharmaceutics* 13 (8), 1180. doi: 10.3390/pharmaceutics13081180

Scocozza, F., Sakaj, M., Auricchio, F., Marconi, S., Riello, P., Ferrari, C., Cansolino, L., Catenacci, L., Sorrenti, M., Scatto, M., Conti, M., Shape fidelity and sterility assessment of 3D printed polycaprolactone and hydroxyapatite scaffolds. *Journal of Polymer Research* 28 (9), 327. doi: 10.1007/s10965-021-02675-y

Rinaldi, F., Tengattini, S., Brusotti, G., Tripodo, G., Peters, B., Temporini, C., massolini, G., Calleri, E., “Monolithic Papain-Immobilized Enzyme Reactors for Automated Structural Characterization of Monoclonal Antibodies”. *Frontiers in Molecular Biosciences* 8 (9), 765683. doi: 10.3389/fmolb.2021.765683

Rassu, G., Pavan, B., Mandracchia, D., Tripodo, G., Botti, G., Dalpiaz, A., Gavini, E., Giunchedi, P., “Polymeric nanomicelles based on inulin D α -tocopherol succinate for the treatment of diabetic retinopathy”, *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 61, 102286. doi: 10.1016/j.jddst.2020.102286

DIPARTIMENTO di INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

Collivignarelli, M. C., Carnevale Miino, M., Arab, H., Bestetti, M., & Franz, S. (2021). *Efficiency and energy demand in polishing treatment of wastewater treatment plants effluents: Photoelectrocatalysis vs. Photocatalysis and photolysis* *Water*, 13(6), 821.

Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Carnevale Miino, M., Bertanza, G., Sorlini, S., Damiani, S., Arab, H., Bestetti, M., & Franz, S. (2021). *Photoelectrocatalysis on TiO₂ meshes: different applications in the integrated urban water management*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59452-59461.

Y. Wang, E. Sachyani Keneth, A. Kamyshny, G. Scalet, F. Auricchio, S. Magdassi, *4D Multimaterial Printing of Programmable and Selective Light-Activated Shape-Memory Structures with Embedded Gold Nanoparticles*. *Advanced Materials Technologies*, 2101058, 2021.

N. Inverardi, G. Scalet, A. Melocchi, M. Uboldi, A. Maroni, L. Zema, A. Gazzaniga, F. Auricchio, F. Briatico-Vangosa, F. Baldi, S. Pandini, *Experimental and computational analysis of a pharmaceutical-grade shape memory polymer applied to the development of gastroretentive drug delivery systems*. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 124, 104814, 2021.

G. Scalet, A. Karakalas, L. Xu, D. Lagoudas, *Finite Strain Constitutive Modelling of Shape Memory Alloys Considering Partial Phase Transformation with Transformation-Induced Plasticity*. Shape Memory & Superelasticity, 7, 206-221, 2021.

F. Auricchio, C. Maletta, G. Scalet, E. Sgambitterra. *Fatigue and fracture*, in Shape Memory Alloy Engineering. Antonio Concilio, Ferdinando Auricchio, Elio Sacco, Vincenza Antonucci, Leonardo Lecce (eds), Butterworth-Heinemann - Elsevier, 195-243, 2021.

G. Scalet, F. Auricchio. *Advanced constitutive modeling*, in Shape Memory Alloy Engineering. Antonio Concilio, Ferdinando Auricchio, Elio Sacco, Vincenza Antonucci, Leonardo Lecce (eds), Butterworth-Heinemann - Elsevier, 345-379, 2021.

E. Bari, F. Scocozza, S. Perteghella, M. Sorlini, F. Auricchio, M.L. Torre, M. Conti. *3D Bioprinted Scaffolds Containing Mesenchymal Stem/Stromal Lyosecretome: Next Generation Controlled Release Device for Bone Regenerative Medicine*. Pharmaceutics, 13, 515, 2021.

F. Scocozza, M. Sakaj, F. Auricchio, S. Marconi and M. Conti. *Shape fidelity and sterility assessment of 3D printed polycaprolactone and hydroxyapatite scaffolds*. Journal of Polymer Research, 28(9), 1-13, 2021.