



SMART MATERIALS

La sessione Smart Materials del Congresso SCI 2024 si è rivelata un'ottima occasione di confronto tra ricerca e industria, offrendo un'ampia panoramica sulla relazione esistente tra struttura e potenziale applicativo di materiali soft e hard.

L'organizzazione della sessione *Smart Materials* del Congresso SCI 2024 è stata coordinata dai delegati della Divisione di Chimica Organica e di Elettrochimica, con il supporto delle Divisioni di Chimica Inorganica, Chimica Fisica, dei Gruppi Interdivisionali delle Energie Rinnovabili, di Fotochimica, delle Biotecnologie nonché del CNR. La costituzione ampia e variegata del gruppo di lavoro rispecchia perfettamente la natura interdisciplinare della tematica, i cui prodotti di ricerca trovano

massima espressione tanto nella ricerca di base che in quella applicata.

Obiettivo fondamentale e filo conduttore della sessione parallela, è stata la panoramica sulla relazione esistente tra struttura e applicazione di materiali *hard* e *soft*. I contributi hanno dimostrato la poliedricità di tali materiali, la cui applicazione spazia dal settore ambientale, a quello alimentare, passando attraverso la salvaguardia della salute umana (Fig. 1). Tutto ciò si realizza attraverso approcci multidisciplinari che coinvolgono chimici e fisici, unitamente a biologi e ingegneri.

La sessione è stata caratterizzata dagli interventi di quattro insigni ricercatori, che hanno ricevuto importanti riconoscimenti da parte della Società Chimica Italiana e delle sue Divisioni. A tal proposito, è d'obbligo menzionare la Medaglia Paternò, conferita a Luca Prodi (Università di Bologna), la Medaglia Piria, conferita a Maurizio Prato (Università di Trieste), la Medaglia Sacconi, conferita a Anne-Marie Caminade (CNRS di Parigi) e il Premio alla Ricerca "Chimica Organica per l'ambiente, l'energia e le nanoscienze", conferito a Manuela Melucci

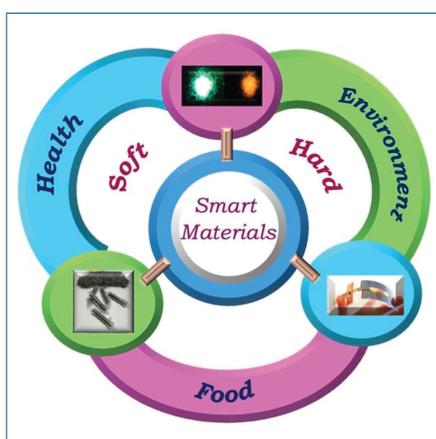


Fig. 1 - Rappresentazione schematica delle tematiche della Sessione

(CNR di Bologna). Le motivazioni a supporto del conferimento dei riconoscimenti, così come gli argomenti affrontati negli interventi, hanno chiaramente evidenziato il potenziale applicativo degli *smart materials*.

Luca Prodi ha aperto la sessione con un intervento sulle tecniche di rilevamento di analiti di rilevanza clinica e ambientale basate sulla luminescenza. Ha evidenziato il ruolo chiave della luce nell'ambito di diverse applicazioni, tra cui la generazione di agenti

di contrasto per l'imaging *in vivo*, il raggiungimento di elevate prestazioni analitiche nella diagnostica *in vitro* e la misurazione, risolta nel tempo e nello spazio, di analiti di rilevanza biologica e ambientale. Le tecniche basate sulla luminescenza offrono elevata sensibilità e versatilità e hanno condotto allo sviluppo di una piattaforma accurata, rapida, economica e portatile per il rilevamento di agenti infettivi, utilizzando l'elettrochemiluminescenza come meccanismo di trasduzione del segnale



Luca Prodi



Maurizio Prato



[1], e alla progettazione di polimeri naturali derivatizzati per rilevare micro e nano-plastiche [2]. Maurizio Prato ha focalizzato il suo intervento sugli studi relativi allo sviluppo di sistemi innovativi, a base di nanotubi di carbonio, per la potenziale terapia di lesioni spinali o malattie neurodegenerative. Attraverso funzionalizzazioni chimiche mirate ed elevata ingegnerizzazione delle metodiche di preparazione dei materiali sono stati sviluppati dei sistemi in grado di stabilire un eccellente livello di interazione con le cellule neuronali, favorendo lo scambio di impulsi elettrici tra compartimenti diversi del neurone, migliorandone o ripristinandone la sua funzione interattiva. Nella parte finale della sua relazione Prato ha illustrato le sue ricerche nel campo dei *carbon nanodots*, nanoparticelle luminescenti, le cui proprietà e applicazioni possono essere finemente modulate attraverso opportune strategie di sintesi e postfunzionalizzazione.

Maria Rosaria Plutino (ISMNS-CNR di Messina) ha presentato una panoramica sui materiali ibridi multifunzionali intelligenti basati su una matrice polimerica multicomponente [3]. Nell'intervento sono stati messi in luce i vantaggi forniti da questi materiali, che combinano componenti organici e inorganici a livello nanometrico o molecolare, in termini, per esempio, di resistenza, conducibilità, flessibilità. La loro adattabilità ed il carattere innovativo hanno attirato molta attenzione nella prospettiva di potenziali applicazioni in vari settori industriali. Plutino ha inoltre evidenziato la relazione tra le funzionalità e le proprietà dei sistemi ottenuti, valutando vantaggi e sfide di un approccio razionale "safe and sustainable by design" per aprire la strada a prodotti e tecnologie più ecologici e innovativi.

Benedetta Carlotti (Università di Perugia) ha presentato uno studio approfondito sulle dinamiche dello stato eccitato di diversi cromofori donatore-accettore, che mostrano emissione indotta dall'aggregazione (AIE). La ricerca ha impiegato spettroscopie risolte nel tempo, consentendo una comprensione meccanicistica completa delle relazioni struttura-proprietà che influenzano l'AIE. I risultati sperimentali hanno permesso di delineare conclusioni generali su cui sviluppare nuovi AIEgen puramente organici. È emerso come un aumento del carattere di trasferimento di carica intramolecolare porti all'attivazione della fosforescenza a temperatura ambiente e della fluorescenza ritardata attivata ter-

micamente, la cui efficienza risulta ulteriormente migliorata dall'aggregazione.

Jurriaan Huskens (Università di Twente) ha discusso delle interazioni multivalenti nel rilevamento di DNA e virus [4]. Ha spiegato come la multivalenza descriva molte interazioni in natura, ad esempio l'interazione tra virus e membrane cellulari. Huskens ha mostrato l'uso di gradienti superficiali di doppi strati lipidici supportati, modificati con recettori, per visualizzare e quantificare la dipendenza dalla densità dei recettori in un'unica immagine microscopica. Questa tecnica, chiamata "Multivalent Affinity Profiling" [5], permette di quantificare la densità di soglia, confrontare le selettività di legame per diversi ceppi virali e offre quindi una comprensione molecolare del paesaggio energetico di legame supramolecolare. Ha anche descritto come gli stessi principi di legame multivalente debole e superselettivo possano essere utilizzati nella progettazione di un dispositivo che cattura selettivamente il DNA ipermetilato, un biomarcatore del cancro [6].

Giuseppina Sandri (Università di Pavia) ha presentato i risultati sui nanocompositi intelligenti nell'ingegneria tissutale dei tendini. Ha descritto lo sviluppo di scaffold fibrosi e scaffold 3D altamente porosi, utilizzando polimeri termoplastici come poliuretano e polidrossibutirrato, associati a polimeri naturali biomimetici come gelatina o condroitina solfato. Il drogaggio inorganico con ossidi di cerio, rame e ferro conferisce agli scaffold proprietà superiori di riparazione tissutale e antimicrobiche. Sandri ha illustrato l'approccio multidisciplinare che include una caratterizzazione fisico-chimica e una caratterizzazione preclinica, aprendo la strada a una traslazione verso la clinica.

Gloria Guidetti (Tetra Pak Packaging Solutions) ha discusso i requisiti dei materiali avanzati per la progettazione sostenibile di attrezzature per il confezionamento alimentare. Ha evidenziato come le industrie del packaging alimentare stiano cercando soluzioni sostenibili non solo per lo sviluppo della struttura dei materiali di imballaggio, ma anche per l'ottimizzazione della progettazione dei componenti delle attrezzature. Ha descritto le attività di ricerca mirate all'ottenimento di polimeri sostenibili per componenti industriali, la tribologia verde, i materiali autolubrificanti, la funzionalizzazione delle superfici e i materiali avanzati e a base di carbonio.

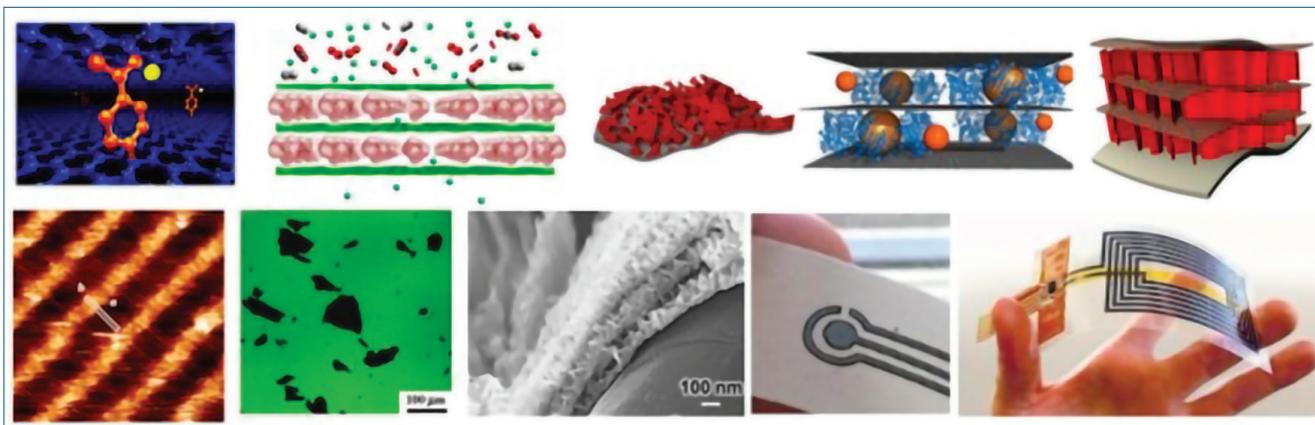


Fig. 2 - Illustrazione degli approcci di modifica, intercalazione, caratterizzazione ed applicazione del grafene [7]

Vincenzo Palermo (ISOF-CNR di Bologna) ha ripercorso la storia del grafene, da curiosità di laboratorio a svolta nell'innovazione industriale. Ha spiegato come il grafene sia passato dall'essere principalmente un gioco per fisici, che lavoravano nella ricerca fondamentale, a un materiale con applicazioni pratiche. Palermo ha descritto come i nanofogli 2D come il grafene possano essere processati, funzionalizzati e poi riasssemblati per creare nuovi compositi stratificati con utili applicazioni. Ha fornito una panoramica di nuovi compositi stratificati con struttura originale prodotti recentemente, con applicazioni nei settori dello stoccaggio di energia utilizzando litio e sodio e nella purificazione dei gas (Fig. 2) [7].

Anne-Marie Caminade ha incentrato il suo intervento sulle proprietà biologiche dei dendrimeri al fosforo "inorganici" [8]. Ha spiegato come, a seconda del tipo di funzioni terminali, i dendrimeri contenenti fosforo mostrino diverse proprietà, con

applicazioni in biologia e nanomedicina. I dendrimeri, a seconda della funzionalizzazione terminale, (gruppi fosfonato, complessi metallici o ioni ammonio, Fig. 3) mostrano proprietà antiinfiammatorie, antitumorali, o agiscono come vettori di farmaci [9].

Manuela Melucci (ISOF-CNR di Bologna) ha discusso della modifica chimica dei materiali a base di grafene per applicazioni ambientali. Ha presentato le applicazioni di grafeni modificati nella purificazione dell'acqua, nei sensori elettrochimici e nella carbocatalisi [10-12]. Ha dettagliato le recenti scoperte su strategie di progettazione e tecniche di funzionalizzazione covalente volte a creare nuovi materiali per: i) migliorare l'adsorbimento di contaminanti emergenti come PFAS e antibiotici dall'acqua potabile, ii) la trasduzione elettrochimica per il rilevamento precoce di pesticidi nell'acqua, e iii) la cattura e l'utilizzo di CO₂ in trasformazioni chimiche.

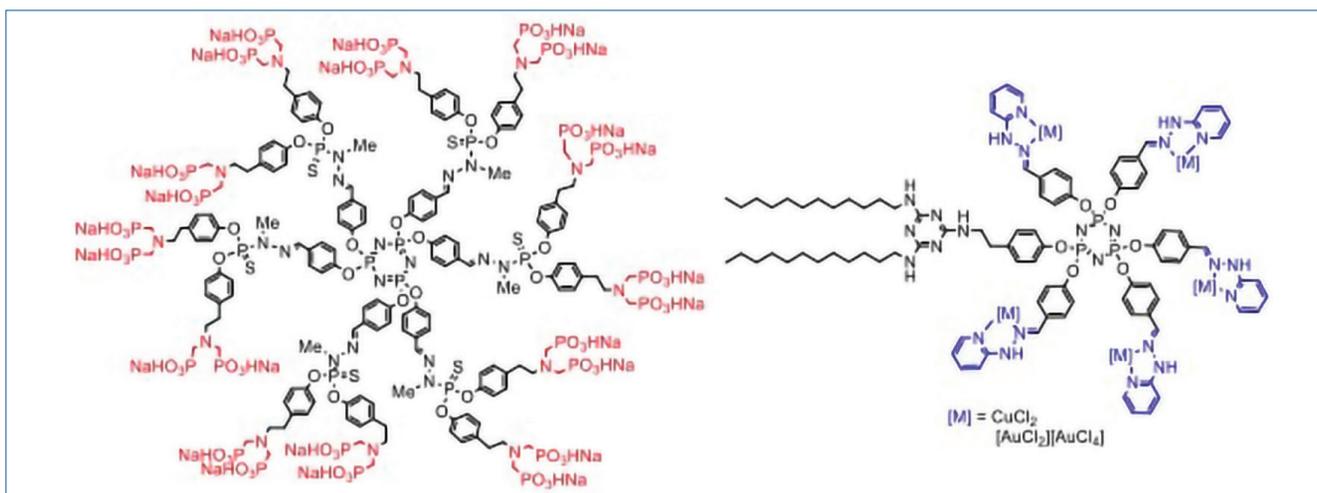


Fig. 3 - Due esempi di strutture dendritiche al fosforo con proprietà biologiche



Paola Stagnaro (ISMAC-CNR di Genova) ha presentato architetture macromolecolari ricche di zolfo, ottenute per vulcanizzazione inversa, come nuovi metamateriali per la nanofotonica. Ha spiegato come i polimeri con elevato contenuto di legami S-S altamente polarizzabili si siano rivelati promettenti come blocchi fotonici dotati di indice di rifrazione molto elevato ed eccellente trasparenza nella regione del vicino infrarosso. Il semplice processo di vulcanizzazione inversa senza solventi rappresenta, infatti, un metodo efficiente ed ecologico per riciclare lo zolfo elementare di scarto, come risorsa economica per ottenere materiali polimerici sostenibili e innovativi con proprietà funzionali uniche.

Barbara Vercelli (CNR-ICMATE) ha presentato uno studio sui *quantum dots* di carbonio a emissione blu, fornendo informazioni sull'effetto dei parametri di sintesi dell'approccio idrotermale. Ha selezionato l'approccio idrotermale per la sua fattibilità per future applicazioni industriali su larga scala, impiegando precursori ecologici che potrebbero essere ottenuti da rifiuti biologici. Attraverso indagini spettroscopiche, elettrochimiche e strutturali, ha studiato e discusso gli effetti dei parametri di reazione considerando la formazione di ossidi di azoto grafitico e il loro ruolo [13].

Matteo Grattieri (Università di Bari) ha presentato lo sviluppo di fotoanodi basati su batteri fotosintetici intatti per applicazioni energetiche e di monitoraggio dei contaminanti. Ha descritto un approccio sostenibile per ottenere una matrice di polidopamina redox-adesiva, che facilita simultaneamente il trasferimento di elettroni extracellulare fotoindotto, con una produzione di fotocorrente 5 volte maggiore, mantenendo i batteri a stretto contatto con le superfici degli elettrodi. Inoltre, ha presentato elettrodi biobased autoportanti, che hanno permesso di migliorare la colonizzazione batterica e un ulteriore aumento di 18 volte nella generazione di corrente [14].

Infine, Annamaria Petrozza (Istituto Italiano di Tecnologia) ha discusso dell'attività dei difetti nei semiconduttori perovskitici alogenuri metallici. Ha valutato i progressi più recenti volti a chiarire la (foto)chimica dei difetti legati alla composizione chimica dell'unità cristallina della perovskite, mostrando come essi definiscano la dinamica dei portatori di carica nel semiconduttore. Sulla base di tale comprensione, ha discusso le principali caratteristiche elettriche e

spettroscopiche legate all'attività dei difetti e come interpretarle per migliorare le figure di merito dei dispositivi optoelettronici e la loro stabilità.

In sintesi, la sessione *Smart Materials* ha fornito una piattaforma eccellente per lo scambio di idee e la presentazione di ricerche all'avanguardia nel campo dei materiali intelligenti, sottolineando il potenziale di questi materiali per affrontare sfide significative in vari settori, dalla medicina all'energia, dall'ambiente alla tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Nikolaou, E.L. Sciuto *et al.*, *Biosensors and Bioelectronics*, 2022, **209**, 114165.
- [2] M. Cingolani, E. Rampazzo *et al.*, *Environ. Sci. Nano*, 2022, **9**, 582.
- [3] V. Trovato, S. Sfameni *et al.*, *Molecules*, 2022, **27**, 5709.
- [4] N.J. Overeem, E. van der Vries, J. Huskens, *Small*, 2021, **17**, 2007214.
- [5] N.J. Overeem, P.H. Hamming *et al.*, *ACS Nano*, 2021, **15**, 8525.
- [6] R. Kolkman, L.I. Segerink, J. Huskens, *Adv. Mater. Interfaces*, 2022, **9**, 2201557.
- [7] Y. Sun, J. Sun *et al.*, *Chemical Communications*, 2023, **59**, 2571.
- [8] A.M. Caminade *et al.*, *Nature Comm.*, 2015, **6**, 7722.
- [9] Y. Zou *et al.*, *Biomacromolecules*, 2024, **25**, 1171.
- [10] S. Mantovani, T.D. Marforio *et al.*, *RSC Env. Science and Engineering*, 2023, 1030.
- [11] G. Moro, S. Khaliha *et al.*, *Materials Today Chemistry*, 2024, 101936.
- [12] A. Pintus, S. Mantovani *et al.*, *Chem. Eur. J.*, 2023, e202202440.
- [13] B. Vercelli *et al.*, *Electrochimica Acta*, 2021, **387**, 138557.
- [14] G. Buscemi, D. Vona *et al.*, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2022, **14**, 26631.

Smart Materials

The Smart Materials session within the SCI 2024 Congress, turned out to be an excellent opportunity for debate and discussion between academia and industry, providing a broad overview on the connection between structure and application potential of hard and soft materials.