



Mirko Maturi

Dipartimento di Chimica industriale "Toso Montanari"
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
mirko.maturi2@unibo.it

NANOMATERIALI IBRIDI ORGANICO-INORGANICI

I (nano)materiali ibridi organico-inorganici offrono la possibilità di combinare le proprietà dei materiali inorganici con la versatilità della chimica organica e dei biopolimeri. Questo approccio porta allo sviluppo di nuovi materiali capaci di rivoluzionare la ricerca scientifica in nanomedicina e teranostica, elettronica organica e stampa 3D, campi di grande rilevanza medica e industriale.

In questo articolo parlerò del lavoro di ricerca eseguito nel contesto dei miei studi di Dottorato in Chimica, che mi ha condotto al conferimento del Premio Tesi di Dottorato in Chimica Organica per l'Ambiente, l'Energia e le Nanoscienze da parte della Società Chimica Italiana lo scorso settembre. Tale lavoro ha principalmente riguardato la sintesi e la formulazione di nuovi nanomateriali ibridi organico-inorganici per applicazioni avanzate in diversi campi della tecnologia dei materiali, tra cui:

- 1) la teranostica;
- 2) l'elettronica organica;
- 3) la manifattura additiva (stampa 3D).

In una prima parte dei miei studi di dottorato, mi sono occupato della sintesi e della modifica superficiale di nanocilindri d'oro (*gold nanorods*, GNRs) per applicazioni come agenti teranostici. Il termine teranostica, coniato per fusione dei termini terapia e diagnostica, fa riferimento all'applicazione di un singolo componente farmaceutico in grado di agire sia per curare attivamente una malattia (come agente terapeutico) sia per aiutare il personale medico nell'individuazione della malattia stessa, agendo come mezzo di contrasto per tecniche di imaging. In un primo studio, i GNRs hanno dimostrato di essere in grado di combinare le proprietà diagnostiche dell'imaging fotoacustico applicato a nanostrutture plasmoniche assorbenti nel vicino infrarosso con gli effetti terapeutici della chemioterapia e della terapia fototermica, con l'obiettivo di individuare ed eradicare il carcinoma epatocellulare

in modello animale [1, 2]. Inoltre, la chemometria basata sull'analisi multivariata di dati di imaging fotoacustico ottenuti con GNRs funzionalizzati come agenti di contrasto ha permesso di fornire alla comunità scientifica uno strumento aggiuntivo per la risoluzione di miscele spettrali complesse e reali ottenute tramite imaging fotoacustico in sistemi *ex-vivo* [3]. Sempre in questo frangente, mi sono occupato della sintesi di GNRs che potessero servire come piattaforme per la diagnosi e la cura del tumore alla vesciva, nell'ambito di un progetto internazionale finanziato dall'Unione Europea. Tali nanomateriali sono stati opportunamente funzionalizzati con chitosano e con piccoli peptidi capaci di legare selettivamente i tessuti caratteristici delle fasi iniziali del tumore alla vesciva, quando questo tumore

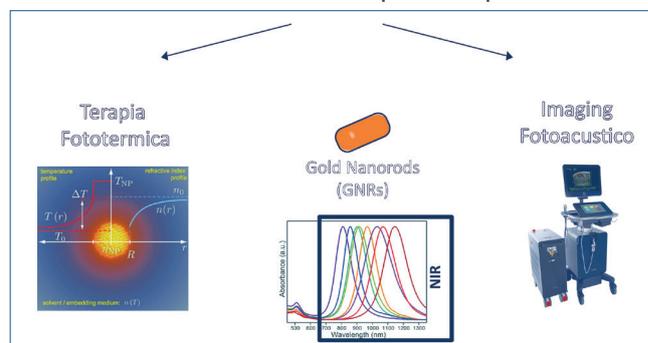


Fig. 1 - I nanocilindri di oro (Gold Nanorods, GNRs) sono piattaforme teranostiche estremamente interessanti: lo stesso fenomeno di interazione con la radiazione luminosa nel vicino infrarosso (NIR) può essere sfruttato da tecniche diverse per effettuare parallelamente la diagnosi e la terapia di molte malattie, in particolare in ambito oncologico

A Mirko Maturi è stato conferito il Premio Tesi di Dottorato Chimica Organica per l'Ambiente, l'Energia e le Nanoscienze 2021 dalla Divisione di Chimica Organica della SCI.

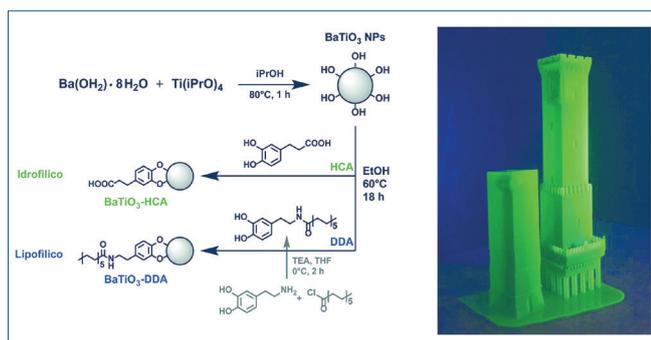


Fig. 2 - Sinistra: sintesi di nanoparticelle piezoelettriche e i diversi approcci studiati per la loro stabilizzazione superficiale. Destra: fotografia di un modello de "Le Due Torri" della città di Bologna, ottenuta per stereolitografia combinando le proprietà fotoindurenti di derivati di origine rinnovabile e le proprietà luminescenti dei complessi di iridio

è difficilmente diagnosticabile con le tecniche note. I GNRs non agiscono solo come mezzo di contrasto per imaging fotoacustico (una tecnica di diagnostica per immagine all'avanguardia e già applicata allo stato clinico in strutture ospedaliere di eccellenza) permettendo, quindi, di diagnosticare il carcinoma vescicale negli stadi più iniziali dello sviluppo della malattia, ma sono in grado di aumentare drasticamente la temperatura nelle loro vicinanze, quando esposti a radiazione laser infrarossa, causando la morte del tessuto cellulare canceroso a cui si sono legati.

Una seconda parte del mio lavoro di tesi ha riguardato lo sviluppo di materiali ibridi per la produzione di sensori di pressione e movimento nell'ambito dell'elettronica organica, un settore dell'elettronica in cui si sfrutta la trasparenza e la flessibilità dei materiali polimerici organici, combinate con le impressionanti proprietà elettriche di alcuni materiali nanostrutturati, per superare le limitazioni intrinseche dell'elettronica tradizionale, basata su sistemi rigidi e opachi. In particolare, mi sono concentrato sulla sintesi e sulla funzionalizzazione superficiale di nanoparticelle di titanato di bario, un materiale ceramico piezoelettrico in grado di generare una risposta elettrica quando sottoposto ad una pressione esterna (Fig. 2, sinistra). Con questo tipo di materiale è stato possibile costruire dispositivi sottili e flessibili in grado di registrare le sollecitazioni meccaniche a cui venivano sottoposti e con grande sensibilità, suggerendo una possibile applicazione nel campo delle tecnologie indossabili [4, 5]. Parallelamente, ho lavorato ad uno studio preliminare riguardante la stabilizzazione di nanofili di oro con un legante organico di sintesi e della loro applicazione come

sensori piezoresistivi quando dispersi in matrici polimeriche flessibili come i polidimetilsilossani [6]. Infine, nell'ultima parte del mio lavoro di Dottorato, mi sono dedicato all'ideazione di una nuova resina fotoindurente per stampa 3D stereolitografica basata quasi completamente (per il 96%) su composti chimici provenienti da fonti rinnovabili, per applicazioni nel campo dell'industria tessile di avanguardia. La stereolitografia è una tecnica di manifattura additiva per permette la produzione di oggetti tridimensionali per indurimento selettivo di una resina liquida ad opera di luce ultravioletta; la maggioranza delle resine commerciali disponibili in commercio per questo tipo di manifattura è basata su composti di origine fossile, quindi il mio lavoro di tesi si è in parte concentrato sulla possibilità di formulare una nuova resina proveniente da fonti rinnovabili che portasse all'ottenimento di manufatti flessibili. Tale resina è stata prodotta utilizzando per il 96% della sua composizione da prodotti di fermentazione di biomasse (come glicerolo, acido vanillico, acido itaconico e acido citrico), e additivata con piccolissime quantità di composti di iridio con proprietà fotoemissive, permettendo la stampa ad alta risoluzione di oggetti flessibili e con proprietà fosforescenti (Fig. 2, destra).

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Maturi, E. Locatelli, I. Monaco, M. Comes Franchini, *Biomater. Sci.*, 2019, **7**, 1746.
- [2] E. Locatelli *et al.*, *Int. J. Nanomedicine*, 2019, **14**, 1877.
- [3] M. Maturi, P. Armanetti, L. Menichetti, M. Comes Franchini, *Nanomaterials*, 2021, **11**, 142.
- [4] S.M. Villa *et al.*, *ACS Macro Lett.*, 2019, **8**, 414.
- [5] S.M. Villa, M. Maturi *et al.*, *Sensors Actuators A. Phys.*, 2021, **332**, 113196.
- [6] M. Maturi *et al.*, *ACS Appl. Nano Mater.*, 2021, **4**, 8668.
- [7] M. Maturi *et al.*, *Green Chem.*, 2020, **22**, 6212.

Organic-Inorganic Hybrid Nanomaterials

Organic-inorganic hybrid (nano)materials offer the possibility to combine the properties of inorganic materials with the versatility of organic and biopolymer chemistry. This leads to the development of new materials able to revolutionize research in nanomedicine and theranostics, organic electronics and 3D printing, fields that are assuming great importance for industrial and medical applications.