

Dal nano al macro per nuove soluzioni tecnologiche

Nella sede di Bari del CNR-Nanotec si sviluppano nuovi materiali e tecnologie sostenibili per energia, ambiente e salute con processi chimico-fisici avanzati e plasma.

Nuovi materiali • Tecnologie sostenibili • Ricerca e sviluppo • Energia

Dal cuore della ricerca alla vita di tutti i giorni: a Bari, l'innovazione prende forma

Istituto di Nanotecnologia

Dipartimento di Scienze Fisiche e Tecnologie della Materia

Da oltre dieci anni, la sede di Bari dell'Istituto di Nanotecnologia (NANOTEC) del CNR è impegnata in sviluppo e caratterizzazione di materiali avanzati e nell'ingegnerizzazione di dispositivi innovativi per affrontare alcune delle principali sfide contemporanee. Il contributo consiste nello studio di processi tecnologici economicamente accessibili e a ridotto impatto ambientale, in una prospettiva di sostenibilità. I risultati della ricerca, pubblicati su riviste scientifiche internazionali, trovano applicazione in diversi settori come transizione energetica, tutela ambientale e medicina.

La spinta all'innovazione non è nata qui per caso: affonda le sue radici negli anni '70, con la nascita, all'interno dell'Università degli Studi di Bari, del Centro di Studio della Chimica dei Plasmi (CSCP), specializzato nello studio di gas ionizzati presenti nell'Universo e riprodotti in laboratorio come strumenti per modificare materiali e liquidi. Il CSCP grazie all'attitudine e alle intuizioni di ricercatori e ricercatrici, nel tempo, ha creato le basi dell'attuale Istituto NANOTEC.

Oggi la sede NANOTEC di Bari è impegnata quotidianamente a costruire ponti tra ricerca scientifica e futuro sostenibile, anche attraverso strette collabo-

razioni scientifiche interne con altri istituti del CNR, ed esterne con enti pubblici di ricerca locali (la più intensa è con il Dipartimento di Chimica dell'Università degli studi di Bari), e con altre

università e centri di ricerca nazionali e internazionali, europei ed extra-europei, sostenuti da finanziamenti sia pubblici sia privati, a testimonianza di linee di ricerca innovative e pienamente connesse con le priorità strategiche europee. Al tempo stesso, NANOTEC mantiene un solido rapporto con il territorio, collaborando con industrie ed enti locali attivi nei settori dei materiali, dell'ambiente, della salute e dell'energia, contribuendo così al rafforzamento della competitività del sistema produttivo pugliese.

Materiali avanzati per un futuro sostenibile

Il cuore della nostra ricerca è la scienza dei materiali. Qui si progettano nuovi materiali con proprietà specifiche, in grado di interagire con l'ambiente o di rispondere a stimoli esterni come luce, temperatura o campi elettrici. Questi materiali sono alla base di dispositivi per la produzione di energia pulita, il recupero di risorse o la rilevazione di sostanze nocive con applicazioni che spaziano dall'ambiente alla salute, fino all'agricoltura intelligente.

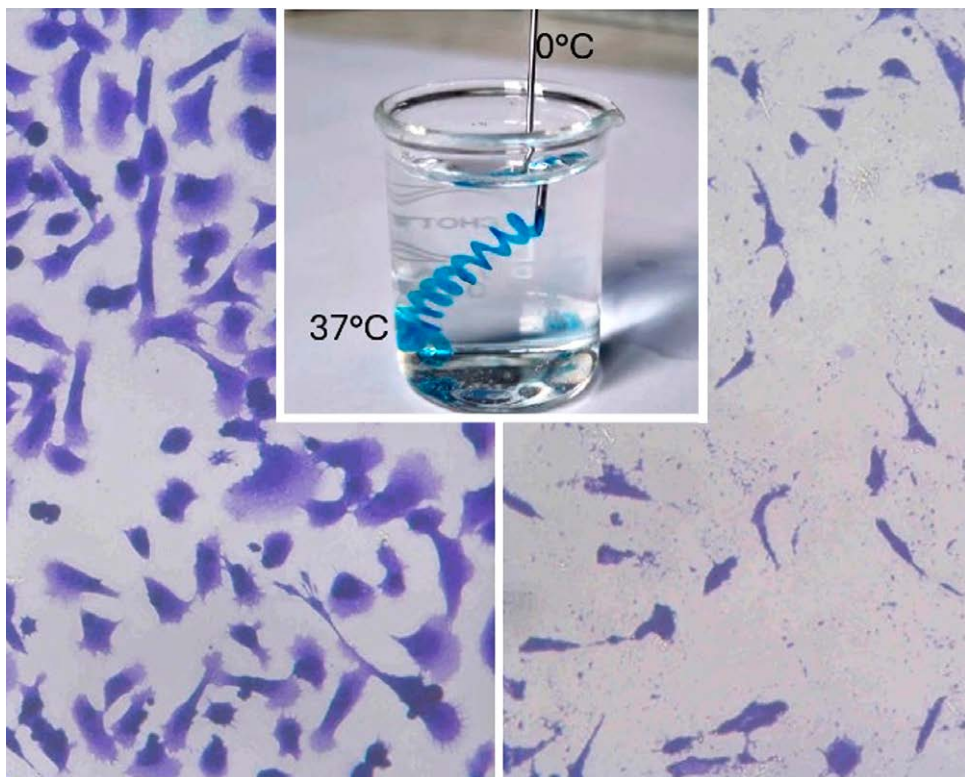
Un filone centrale della ricerca riguarda la sintesi e la caratterizzazione di materiali innovativi ispirati ai principi della sostenibilità. Si progettano materiali riciclabili, biodegradabili o derivati da fonti rinnovabili, funzionalizzati per migliorare l'efficienza energetica e ambientale. Particolare attenzione è rivolta all'economia circolare: sono attive diverse linee di ricerca sul riutilizzo di scarti industriali, agroalimentari e biomasse per produrre elettrodi ad alte prestazioni, film polimerici e componenti per batterie. Le procedure impiegate si ispirano alla logica "waste-to-value", in cui materiali di scarto diventano risorse a elevato valore aggiunto. Tra i materiali studiati ci sono i seguenti: i) grafene, leggero, trasparente e più resistente dell'acciaio, ottimo conduttore di elettricità e calore; ii) perovskiti ibride, materiali cristallini promettenti per celle solari di nuova generazione; iii) film

La scienza dei materiali è il ponte tra ricerca di base e applicazioni tecnologiche.

protettivi ultrasottili, spesso anche pochi atomi, utili per dispositivi elettronici o imballaggi alimentari sostenibili; iv) rivestimenti catalitici per la depurazione selettiva delle acque; v) materiali 3D o gel *stimuli responsive* per la ricostruzione di tessuti umani danneggiati o il rilascio controllato di farmaci.

Il plasma come strumento di innovazione

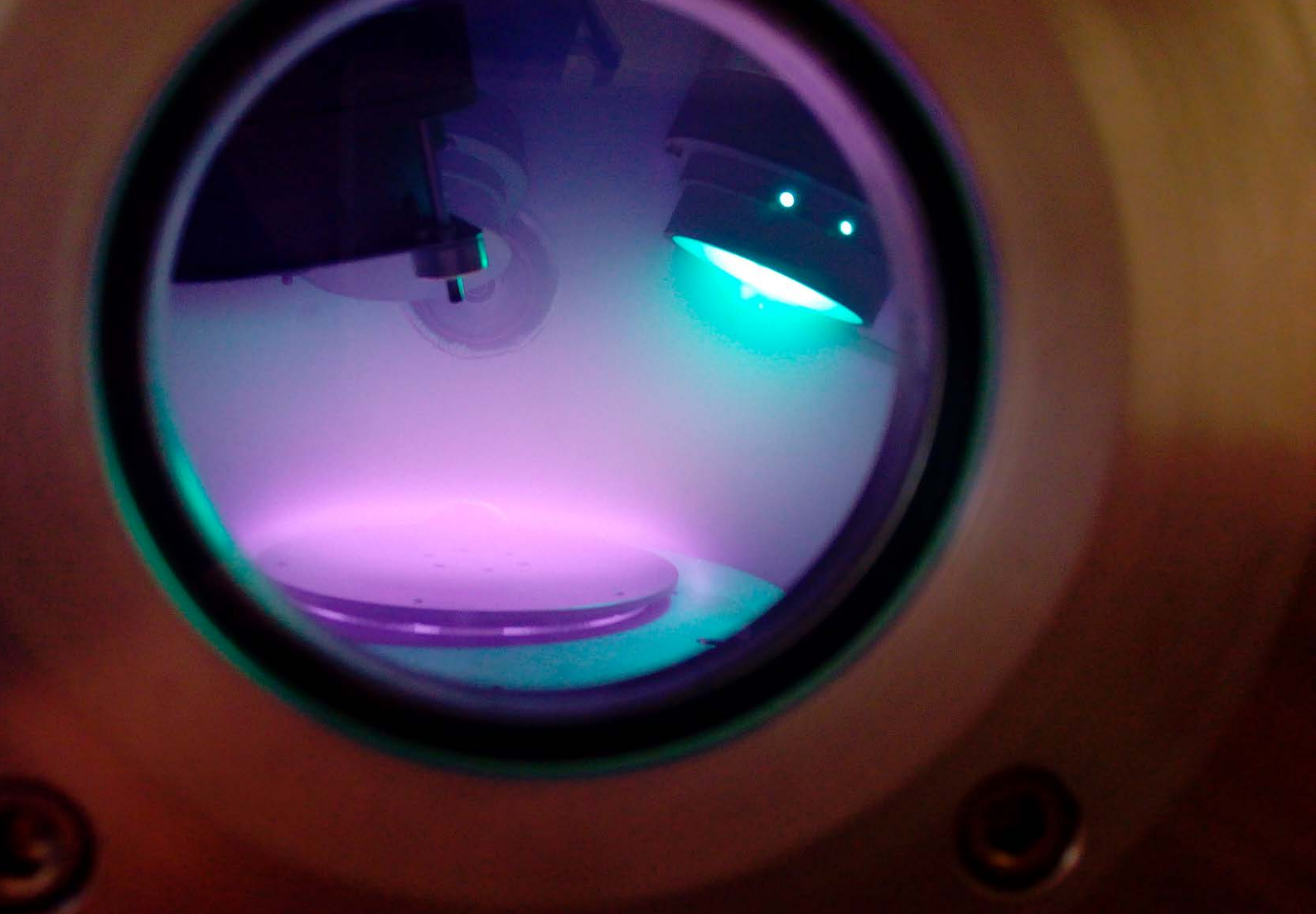
Uno dei punti di forza di NANOTEC, riconosciuto a livello nazionale e internazionale, è l'impiego del plasma. Il plasma è un gas ionizzato ricco di specie chimiche altamente reattive, visibile come un bagliore luminoso. Sulla Terra si osserva nei fulmini e nelle aurore boreali; su scala cosmica rappresenta oltre il 99 % della materia visibile ed è responsabile della luce emessa dagli astri. Il gruppo di ricerca di Bari realizza reattori plasmochimici *ad hoc* per riprodurre in laboratorio plasm



Immagini di un modello sperimentale di cellule di tumore del colon umano, prima (sinistra) e dopo (destra) il trattamento con gel funzionalizzato al plasma (nastro blu al centro).

di", adatti a modificare, sterilizzare e sintetizzare materiali avanzati o a funzionalizzare liquidi e gel utili in medicina. Per generare un plasma si può partire da sostanze semplici come vapor d'acqua, aria, o reagenti chimici, ma in quantità estremamente piccole, riducendo drasticamente l'impatto ambientale rispetto ai metodi tradizionali di sintesi dei materiali.

Questa tecnologia è usata per modificare le proprietà superficiali dei materiali, per la sintesi di nanoparticelle o di rivestimenti funzionali di materiali dalle applicazioni più svariate, dall'high-tech agli utilizzi quotidiani. Si possono, ad esempio, variare le proprietà di un materiale da superidrofobo a superassorbente impiegando una modifica superficiale per mezzo del plasma [1]. O ancora, il plasma può essere un mezzo per trattare semi e terreni per conferire proprietà antifungine e repellenti in agricoltura. Un campo di ricerca emergente conosciuto sotto il nome di *plasma medicine* [2] studia il plasma per le sue proprietà antitumorali, antisettiche o rigenerative di ferite e tessuti danneggiati sia se acceso direttamente su corpo umano o attraverso l'uso di gel e liquidi arricchiti via plasma di molecole antitumorali, antibiotiche o antivirali. La ricerca, condotta



Plasma osservato attraverso l'oblò in un reattore.

in collaborazione con il Policlinico di Bari, l'IRCCS Giovanni Paolo II e oltre trenta partner europei, ha dimostrato che liquidi o gel modificati via plasma se opportunamente iniettati sono in grado di ridurre

**Il plasma è
il quarto stato
della materia:
potente,
controllabile e
sostenibile.**

la massa tumorale senza danneggiare le cellule sane, e cosa più interessante, riattivando la risposta del sistema immunitario nella lotta al tumore, semplicemente sfruttando molecole già presenti nel nostro corpo.



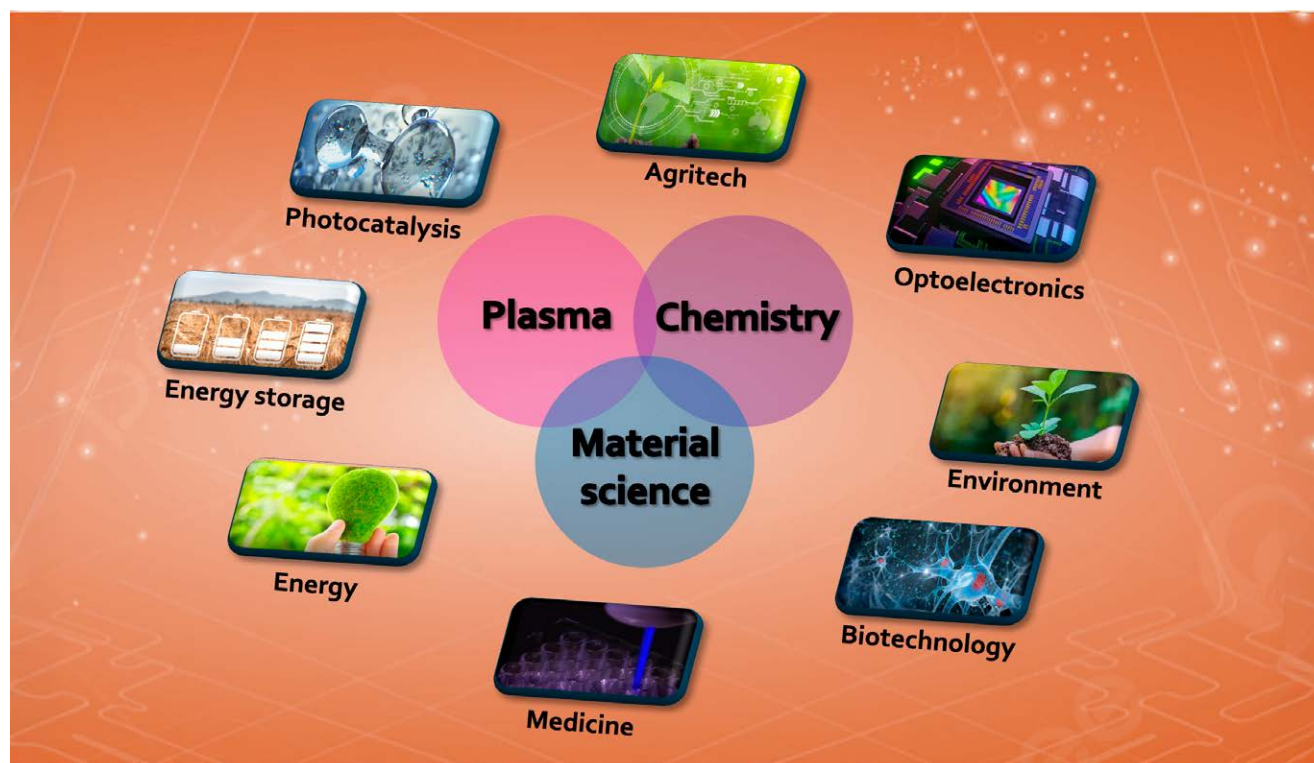
Dalla ricerca ai dispositivi

Presso NANOTEC si realizzano dispositivi come celle solari di terza generazione e supercapacitori ad alte prestazioni per l'accumulo di energia. Questi dispositivi sono basati su materiali avanzati come le perovskiti ibride [3], rivoluzionari attori della produzione

di energia solare a basso costo; il grafene [4], apprezzato per la sua eccezionale conducibilità elettrica, trasparenza e resistenza meccanica; e altri materiali funzionalizzati come ossidi metallici, polimeri conduttivi e materiali bidimensionali. L'Istituto è dotato di strumentazione di ultima generazione per la fabbricazione e caratterizzazione di questi dispositivi e per lo studio delle loro proprietà optoelettroniche. Si sviluppano, inoltre, strategie di incapsulamento e materiali barriera per migliorarne la stabilità, la riciclabilità e l'ecosostenibilità, ad esempio attraverso l'impiego di rivestimenti protettivi, plasma, materiali biodegradabili o processi produttivi a basso impatto ambientale.

La ricerca applicata per superare le sfide del presente

NANOTEC si distingue per la capacità di coniugare ricerca di base e applicazioni industriali in diversi settori strategici. Il trasferimento tecnologico è facilitato da un ambiente dinamico e da una solida rete di col-



Riassunto delle attività che si svolgono al CNR-NANOTEC di Bari e campi di applicazione.

laborazioni a diversi livelli, regionale, nazionale ed europeo.

Tra le esperienze più recenti, la start-up Be-Me, nata da giovani ricercatori dell'Istituto, è un esempio virtuoso di innovazione sostenibile [5]. Be-Me sviluppa materiali e componenti per l'accumulo energetico – come elettrodi per batterie e supercapacitori – utilizzando scarti naturali e industriali come, ad esempio, la lignina o i residui agroalimentari. I processi si basano sui fondamenti della chimica verde e della sintesi sostenibile, rendendo possibile la creazione di dispositivi ad alte prestazioni e a basso impatto ambientale. La start-up è frutto della collaborazione con l'Istituto per i Processi Chimico Fisici e il Dipartimento di Chimica dell'Università degli studi di Bari, dimostrando come la sinergia tra ricerca pubblica e iniziativa imprenditoriale possa generare valore scientifico, economico e ambientale per il territorio.

Oltre il laboratorio: costruire un futuro sostenibile

Oltre alla produzione di conoscenza scientifica e allo sviluppo di tecnologie, NANOTEC promuove una visione della ricerca come motore di cambiamento positivo. L'innovazione qui non è solo sinonimo di pro-

gresso tecnologico, ma anche di responsabilità sociale e ambientale, di formazione delle nuove generazioni e di dialogo con il territorio e con l'Europa. In un mondo in rapida trasformazione, dove le sfide ambientali, sanitarie ed energetiche si intrecciano, la scienza ha il compito di offrire soluzioni concrete e inclusive, capaci di migliorare la qualità della vita e di proteggere le risorse comuni. In questa direzione si muove ogni giorno il lavoro dei ricercatori e delle ricercatrici.



Riferimenti bibliografici

- [1] C. Lo PORTO *et al.*, "Easy plasma nano-texturing of PTFE surface: From pyramid to unusual spherules-on-pyramid features", *Applied Surface Science*, 483, 2019, pp. 60-68.
- [2] V. VERONICO *et al.*, "Anticancer Effects of Plasma-Treated Water Solutions from Clinically Approved Infusion Liquids Supplemented with Organic Molecules", *ACS Omega*, 8, 37, 2023, pp. 33723-33736.
- [3] F. RUSSO *et al.*, "Singlet diradicaloids as n-type passivating interlayers for CsPbI₃ perovskite solar cells", *Journal of Material Chemistry A*, 13, 46, 2025, pp. 39960-39969.
- [4] G.V. BIANCO, "Direct localized growth of graphene on a substrate: a novel nickel-catalyzed CVD process assisted by H₂ plasma", *Nanoscale Advances*, 6, 2024, pp. 6205-6210.
- [5] L.D. DE MOURA TORQUATO *et al.*, "Bacterial-Polyhydroxybutyrate for Biocompatible Microbial Electrodes", *Journal of The Electrochemical Society*, 171, 2024.