

Task Force di Ateneo “Polimeri e Biopolimeri”

Responsabile scientifico: Prof. Claudio De Rosa

Dipartimento di Scienze Chimiche, Università di Napoli Federico II

Dipartimento di afferenza della Task Force: Dipartimento di Scienze Chimiche.

Piano strategico

Materiali innovativi a base di polimeri sintetici e biopolimeri: dal design molecolare di catalizzatori, all’uso di enzimi, dal retro-design delle proprietà fisiche alle applicazioni avanzate.

Aree tematiche rilevanti e caratterizzanti il progetto:

Polimeri e macromolecole;
Sintesi chimica di polimeri;
Polimerizzazioni stereospecifiche;
Catalisi di polimerizzazione;
Polimeri stereoregolari e stereochimica delle macromolecole;
Fisica dei polimeri;
Polimeri cristallini;
Cristallografia dei polimeri e studio della struttura cristallina di polimeri e biopolimeri;
Proprietà fisiche e meccaniche di polimeri;
Reologia di polimeri nel fuso e in soluzione e relazioni con la struttura molecolare;
Processi di lavorazione di polimeri;
Compositi e nanocompositi a matrice polimerica; nanoparticelle e nanofillers;
Polimeri funzionali per applicazioni avanzate in microelettronica e sensoristica (elettronica organica);
Polimeri e biopolimeri per applicazioni biomediche, ingegneria tissutale;
Biopolimeri come bio-plastiche;
Nanostrutture e nanotecnologie con materiali polimerici;
Riciclo e polimeri biodegradabili.

Finalità del progetto.

Lo sviluppo scientifico e tecnologico è, da sempre, legato alla scoperta di nuovi materiali. Nello sviluppo dei materiali si è spesso assistito a delle rivoluzioni. Una rivoluzione è certamente stata la scoperta dei materiali plastici, cioè i polimeri sintetici costituiti da lunghe molecole in cui migliaia di atomi sono concatenati a formare lunghe “catene” (le macromolecole). La scoperta più importante è stata fatta in Italia agli inizi degli anni '60 ad opera di Giulio Natta, unico premio Nobel italiano per la Chimica, che scoprì i “**polimeri stereoregolari**” e per la prima volta sintetizzò il “polipropilene isotattico”, il materiale noto con il nome commerciale di “Moplen”. E fu una rivoluzione al punto che molti oggetti in metallo furono completamente sostituiti dalla plastica, grazie alla maggiore leggerezza, alle buone proprietà di resistenza meccanica e alla facilità di lavorazione.

Ma oggi i polimeri non sono solo plastica. La ricerca sui materiali polimerici è oggi guidata dall'esigenza di progettare e fabbricare materiali innovativi ad alta tecnologia e a basso costo adatti ad un particolare scopo e dall'esigenza di controllarne le proprietà. Questo comporta la conoscenza approfondita delle relazioni tra la struttura molecolare e le proprietà ultime e dei meccanismi che regolano la risposta di un materiale ad una sollecitazione (meccanica, elettrica, termica, magnetica, elettromagnetica e chimica). Le prestazioni di un materiale e le sue proprietà dipendono dalla sua struttura chimica e molecolare, che, nel caso di materiali derivanti da sintesi chimica, dipendono dai processi chimici di sintesi, e dalle variazioni strutturali che possono essere indotte dai processi di lavorazione. Lo studio delle relazioni che intercorrono tra la sintesi chimica per la preparazione dei materiali polimerici, la struttura molecolare e cristallina che ne segue, i processi di lavorazione e le proprietà finali, costituisce la base della moderna scienza dei materiali e dei polimeri in particolare.

I polimeri oggi sono tra i materiali più diffusi con volumi di produzione industriale impressionanti e con innumerevoli applicazioni, dai materiali plastici di uso comune (oggetti casalinghi), alle gomme (pneumatici e guarnizioni) e agli adesivi, dalle fibre tessili a tubi e cavi, dai film per coating protettivo alle schiume, dai materiali per imballaggio ai tecnopolimeri per applicazioni speciali in medicina (valvole, protesi ecc.), in microelettronica ecc.

La grande diffusione dei polimeri in applicazioni come materiali per l'imballaggio (di alimenti e non) è considerato un problema ambientale. In questo tema, la ricerca è rivolta da un lato alla riduzione dell'impatto ambientale attraverso lo sviluppo di tecniche per incrementare le percentuali di riciclo dei materiali plastici utilizzati, dall'altro allo sviluppo di materiali polimerici innovativi in grado di garantire, nel caso di alimenti, una buona conservazione del prodotto e aumentarne la shelf-life. In particolare, ricerche di frontiera sono rivolte alla trasformazione dell'imballo di prodotti alimentari in active e smart packaging, cioè soluzioni su misura in dipendenza del tipo di alimento e della sua composizione chimica che consentono di garantire la conservazione delle proprietà organolettiche, nutrizionali e salutistiche degli alimenti ed assicurare la perfetta sicurezza alimentare eliminando del tutto i possibili processi di contaminazione degli alimenti da parte dello stesso imballaggio a causa di rilascio e migrazione di sostanze nocive. A questi studi di base si affiancano ricerche per lo sviluppo di tecnologie innovative basate sull'utilizzo di film polimerici multistrato, fatti da più strati polimerici diversi, ognuno con una sua funzione specifica (proprietà barriera, antifog, antifungine, antibatteriche, meccaniche, strutturali ecc.), che hanno l'obiettivo di disegnare il materiale più idoneo per l'imballaggio di un determinato alimento in funzione delle proprietà e della composizione chimica dell'alimento e dei requisiti per la sua conservazione. Queste tecnologie, non ancora del tutto diffuse, permettono anche di studiare soluzioni di imballaggio che consentano di ridurre o di eliminare del tutto l'utilizzo di materiali difficili da separare, ad esempio l'alluminio, in modo da incrementare notevolmente le possibilità del riciclo di imballi complessi.

Negli ultimi decenni lo studio dei materiali polimerici si è sviluppato verso la progettazione e l'utilizzo di materiali ibridi, i compositi, materiali formati dalla combinazione di due o più materiali differenti, di solito organici e inorganici, che permettono di ottenere proprietà eccezionali con una combinazione delle migliori proprietà di ciascun componente. La ricerca sui materiali compositi a matrice polimerica ha inciso profondamente nello sviluppo dell'industria dell'automotive. Molte parti di autovetture e di aerei sono costituite da materiali compositi avanzati con ovvi vantaggi di leggerezza. In questo campo di ricerca, grande crescita ha avuto lo studio dei *nanocompositi*, materiali eterogenei costituiti da additivi di dimensioni nanometriche, di solito nanoparticelle inorganiche, disperse in matrici polimeriche. La peculiarità di questi materiali innovativi risiede nell'intima miscelazione, su scala nanometrica, di polimeri e particelle inorganiche, che conferisce proprietà inconsuete e produce drammatiche variazioni di alcune proprietà fisiche, rispetto a quelle dei polimeri puri o di compositi tradizionali. Inoltre, variando la dimensione e la tipologia delle nanoparticelle incluse si possono ottenere materiali dalle caratteristiche molto diverse. In questo contesto, è ovvio lo sviluppo di materiali polimerici funzionali con proprietà elettriche, magnetiche o di semiconduttori in funzione delle nanoparticelle disperse e che possano agire da film attivi in dispositivi microelettronici. Queste ricerche sui polimeri funzionali o sui nanocompositi a matrice polimerica consentono di considerare i polimerici non solo come classici materiali plastici ma come materiali avanzati funzionali in applicazioni non strutturali, come canale attivo o supporto in dispositivi elettronici (memorie volatili e non, transistor ad effetto di campo (OFET) o elettrochimici (OECT)), fibre ottiche, display a cristalli liquidi, sensori ecc.

In anni recenti lo studio e lo sviluppo di materiali polimerici ha subito una nuova svolta grazie al veloce progresso di tecniche di microscopia e nuove tecnologie (le nanotecnologie) che permettono di manipolare la materia a livello atomico, cioè muovere atomi e molecole per formare nuove strutture, cioè aggregati di molecole, definite "nanostrutture". Anche i materiali polimerici, se caratterizzati da una specifica struttura molecolare e manipolati in modo opportuno, formano nanostrutture di grande interesse nelle nanotecnologie. L'abilità di manipolare e sistemare atomi e molecole a formare nanostrutture offre una opportunità unica per lo sviluppo di materiali dalle proprietà meccaniche, elettriche, magnetiche che non possono essere ottenute in altro modo e con importanti applicazioni in campi molto diversi, dalla microelettronica alla medicina.

Queste osservazioni dimostrano come i polimeri siano materiali estremamente versatili con proprietà molto diverse in funzione della struttura e architettura molecolare che consentono applicazioni molto diverse, da quelle classiche come materiali plastici, a materiali funzionali per la microelettronica, l'automotive e la medicina. Negli ultimi anni la ricerca si è anche indirizzata verso lo studio dei metodi per il riciclo di materiali polimerici o addirittura verso l'utilizzo di materiali biodegradabili. La necessità di separazione di materiali plastici per incrementare le percentuali di possibile riciclo, o la sostituzione dei materiali plastici utilizzati per gli imballaggi flessibili e rigidi di prodotti alimentari o non, o per il conferimento di rifiuti, con materiali biodegradabili sono ormai argomenti di ricerca di grande importanza.

Il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Napoli Federico II svolge ricerche in vari settori della chimica e fisica dei polimeri e dei biopolimeri, tra cui la sintesi e la caratterizzazione strutturale, chimico-fisica e meccanica di materiali polimerici, in particolare di poliolefine e copolimeri di olefine, poliesteri e poliammidi, elastomeri, resine e compositi e nanocompositi a matrice polimerica. A questi studi si aggiungono le ricerche su polimeri di origine non fossile, biopolimeri naturali come polisaccaridi e proteine o polimeri da fonti rinnovabili, o biopolimeri sintetizzati mediante sintesi batterica. Le proprietà di questi biopolimeri di essere

biodegradabili e/o edibili ha fatto crescere l'interesse in questi materiali in campo biotecnologico per il loro impiego come bio-plastiche.

Nel Dipartimento di Scienze Chimiche sono presenti competenze riconosciute a livello internazionale nei settori della sintesi di poliolefine stereoregolari mediante catalisi Ziegler-Natta e metallorganica e dello studio strutturale di polimeri cristallini. Gli studi strutturali sono condotti ai più alti livelli di specializzazione utilizzando tutte le tecniche di caratterizzazione molecolare di polimeri e di caratterizzazione dello stato solido di materiali, dalla risonanza magnetica nucleare, alla diffrazione dei raggi X ad alto e basso angolo, dalla calorimetria alle microscopie avanzate (ottica, elettronica e a forza atomica), ed esiste una lunga tradizione nello studio dei meccanismi delle reazioni di polimerizzazione stereospecifica e delle relazioni tra la struttura molecolare e le proprietà fisiche di materiali polimerici semicristallini. L'esperienza nel campo della catalisi di polimerizzazione permette a questi ricercatori di manipolare facilmente le caratteristiche microstrutturali delle singole macromolecole attraverso sintesi a stereo- e regio-selettività controllate, al fine di ottenere specifiche strutture molecolari e, di conseguenza, ottenere materiali polimerici dalle proprietà fisiche e meccaniche volute (retro-design del materiale). Le indagini strutturali di polimeri sono di norma associate a studi approfonditi delle proprietà meccaniche, al fine di interpretare, su basi molecolari, il comportamento meccanico dei materiali, e trovare correlazioni tra le proprietà meccaniche, la struttura cristallina, la struttura molecolare e il processo di sintesi con cui il materiale è stato prodotto.

Queste competenze derivano dall'eredità lasciata dal Prof. Paolo Corradini, che ha collaborato con il prof. Giulio Natta alla scoperta dei polimeri stereoregolari, dando un contributo importante ai risultati che hanno portato all'assegnazione del premio Nobel al Prof. Natta. Il prof. Corradini ha lavorato per oltre 40 anni al Dipartimento di Chimica dell'Ateneo Federico II creando una scuola di Chimica Macromolecolare e Fisica dei Polimeri unica al mondo.

Competenze esistono anche nel settore dello studio strutturale di biopolimeri e nella produzione e caratterizzazione di biopolimeri da fonti rinnovabili per applicazioni come bio-plastiche. In questo settore, l'attenzione alla biodegradabilità e lo studio delle metodologie per adattare i singoli biomateriali allo specifico uso come bio-plastica, attraverso la formulazione con agenti plastificanti, enzimi in grado di modificare la struttura dei biopolimeri, nanoparticelle rinforzanti la rete biopolimerica, molecole bioattive (antimicrobici, antiossidanti, coloranti, aromi ecc.) capaci di conferire specifiche proprietà ed attività biologiche al singolo biomateriale, sono temi prioritari.

Le competenze del Dipartimento di Scienze Chimiche nello studio delle proprietà dei materiali polimeri a livello molecolare si completano e si rafforzano con le competenze del Dipartimento di Ingegneria chimica dei materiali e della produzione industriale (DICMAPI) nello studio della reologia di fusi polimerici e di soluzioni di polimeri e dei processi di lavorazione di polimeri e biopolimeri. In particolare presso il DICMAPI sono disponibili competenze riconosciute a livello internazionale nel settore della reologia dei polimeri e nello studio delle relazioni tra struttura molecolare dei polimeri e il comportamento dei polimeri allo stato fuso in termini di flusso e deformazione. Questi studi sono la chiave per la comprensione, la definizione e il controllo dei processi di lavorazione dei materiali polimerici, stadio ultimo verso l'applicazione finale. Presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli Federico II sono invece presenti importanti competenze da un lato nella caratterizzazione fisica delle proprietà elettriche, magnetiche, ottiche e di trasporto di polimeri, biopolimeri e di nanocompositi e nel loro utilizzo come materiali funzionali in applicazioni avanzate, dalla microelettronica alla sensoristica, dall'altro, nella fisica teorica per modelli di organizzazione di biopolimeri. Ricerche sullo studio di polimeri per applicazioni biomediche, ad esempio nel campo dell'ingegneria tissutale e nello sviluppo di protesi di vario tipo, in particolare in ortopedia, sono molto attive presso l'Ateneo nei Dipartimenti di

Ingegneria chimica dei materiali e della produzione industriale e di Sanità Pubblica della Scuola di Medicina e Chirurgia. Presso il Dipartimento di Agraria sono infine presenti competenze negli studi di polimeri e biopolimeri per il packaging di alimenti, in particolare nello studio dell'idoneità di materiali polimerici utilizzati nel packaging, in relazione alla chimica degli alimenti e alla sicurezza alimentare, nello studio dell'utilizzo di polimeri e biopolimeri come additivi per la stabilizzazione di prodotti agroalimentari e dei processi per la produzione di biopolimeri da sostanze umiche e da scarti alimentari.

Lo studio di **polimeri e biopolimeri** è, quindi, una tematica centrale nell'ambito della scienza dei materiali e coinvolge, da un lato, studi per la progettazione e la produzione di nuovi materiali dalle caratteristiche molecolari controllate per applicazioni in campi anche molto diversi (dallo *smart e active packaging* alimentare, alla microelettronica al biomedicale ecc.), dall'altro studi mirati alla modifica di materiali plastici commerciali per incrementare notevolmente le possibilità di riciclo e/o la sostituzione graduale di materiali plastici tradizionali con biopolimeri di origine naturale e/o non fossile biodegradabili. Le implicazioni anche in ambito tutela ambientale, benessere e sicurezza alimentare sono ovvie.

Questi studi, associati alla grande varietà di applicazioni dei **polimeri e biopolimeri come materiali**, richiedono l'unione e la sinergia di competenze molto diverse che sono già presenti in Ateneo. L'associazione di queste competenze complementari nella task force permette di completare la catena delle conoscenze in questo settore e sviluppare progetti di ricerca che avranno l'ambizione di coprire l'intera filiera, dalla progettazione molecolare dei materiali, alla sintesi chimica, alla produzione, alle applicazioni.

Ulteriore potenziale sviluppo della task force è quello di costituire una base scientifica solida anche per specifiche attività di formazione nell'ambito di corsi di Dottorato di Ricerca.

Attività

La TFA **Polimeri e Biopolimeri** coordinerà iniziative che prevedono ricerche sullo sviluppo di nuovi materiali polimerici e delle applicazioni in importanti ambiti e l'utilizzo di biopolimeri come materiali. Di seguito un elenco di esempi di attività proponibili nell'ambito delle aree tematiche caratterizzanti.

- Sviluppo di nuovi polimeri da catalisi e processi innovativi;
- Studio di nuovi polimeri stereoregolari e cristallini da catalisi organometallica;
- Studio di nuovi polimeri per applicazioni nel campo degli elastomeri e delle gomme;
- Studio di polimeri per fibre tessili;
- Studio di polimeri tradizionali e polimeri da origine non-fossile;
- Studio di polimeri per packaging (alimentare e non);
- Studio di nuove soluzioni per il packaging alimentare per incrementare la shelf-life di alimenti, studio delle proprietà di trasporto e barriera, utilizzo di film multistrato con funzioni specifiche;
- Studio dell'idoneità di nuovi materiali polimerici e/o tecnologie di condizionamento nel packaging di alimenti per la migliore conservazione di prodotti alimentari;
- Studio dei processi di rilascio e migrazione dai materiali plastici utilizzati per il packaging e valutazione della sicurezza alimentare;
- Studio della funzionalizzazione di polimeri a biopolimeri per il packaging attivo;
- Studio di additivi ottenuti da prodotti naturali per la stabilizzazione di polimeri utilizzati nel packaging agroalimentare;

- Studio dell'utilizzo di polimeri e biopolimeri come additivi per la stabilizzazione di prodotti agroalimentari (ad esempio la correzione di difetti d'odore nel vino);
- Studio di polimeri e nuovi additivi per la lotta alle malattie parassitarie e di origine abiotica in agricoltura;
- Studio di nuovi additivi con attività antimicrobica e/o antibiofilm;
- Studio dei processi di riciclo di materiali polimerici;
- Studio della biodegradabilità di polimeri innovativi;
- Studio di biopolimeri come bio-plastiche;
- Sviluppo di processi per la conversione di scarti, biomasse e sostanze umiche in biochemicals per la produzione di biopolimeri;
- Studio della produzione di biopolimeri e additivi da materiali di scarto dell'industria agroalimentare;
- Polimeri e biopolimeri per applicazioni biomediche, ingegneria tissutale e produzione di protesi;
- Studio di polimeri e biopolimeri per applicazioni nel coating e nel drug-delivery;
- Studio di polimeri funzionali per applicazioni speciali in microelettronica, fotovoltaico e sensoristica;
- Studio di nanostrutture da materiali polimerici e sviluppo di nanotecnologie per la manipolazione e le applicazioni delle nanostrutture e l'ingegnerizzazione di superfici; patterning di superfici;
- Studio della reologia dei polimeri nel fuso e in soluzione e correlazioni con la struttura molecolare;
- Modellazione della dinamica e reologia dei polimeri;
- Ottimizzazione dei processi di lavorazione di polimeri e compositi per applicazioni nel settore agroalimentare e biomedicale;
- Studio dei processi di mixing nei processi industriali di formatura di polimeri;
- Studio di miscele polimeriche e di miscele acquose di biopolimeri ed emulsioni, stabilizzate da macromolecole anche di origine biologica;
- Studio strutturale, delle proprietà, dei processi di trasformazione e delle tecnologie di lavorazione di compositi e nanocompositi a matrice polimerica;

Nell'ambito del progetto generale proposto, ***“Materiali innovativi a base di polimeri sintetici e biopolimeri: dal design molecolare di catalizzatori, all'uso di enzimi, dal retro-design delle proprietà fisiche alle applicazioni avanzate***, e delle possibili attività sopra elencate, i gruppi afferenti alla TFdA ***“Polimeri e Biopolimeri”*** si propongono di sviluppare con le loro specifiche competenze ricerche nello *“sviluppo di materiali e tecnologie innovative per l'imballaggio rigido e flessibile di prodotti alimentari a base di polimeri e biopolimeri”*, nello *“studio di polimeri funzionali e di nanocompositi a matrice polimerica per applicazioni speciali in microelettronica e sensoristica”*, e nello *“studio di polimeri e biopolimeri per applicazioni biomediche”*.