



Rivista di informazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Registrazione: Tribunale Civile di Trento - Numero 10 del 21 giugno 2010 del Registro Stampa  
Poste Italiane Spa - Spedizione in Abbonamento Postale - 70% GIPA/TN Trento n. 9/2015

# DIINEWS



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

Dipartimento di  
Ingegneria Industriale

Rivista di informazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale

[www.unitn.it/dii](http://www.unitn.it/dii)

Numero 24, Anno 13, giugno 2023

## Interconnessa, sociale e sostenibile: il futuro della robotica è qui

### RICERCA

Dipartimento di Eccellenza  
2023-2027

Alessandro Pegoretti

### FORMAZIONE

Come cambia la laurea  
triennale

Daniele Fontanelli

### RICERCA

La parola ai nostri dottori di  
ricerca

Vari

### INFORMAZIONE

Il Dii News cambia veste: ci  
rivediamo online!

Giovanni Straffellini

# DIINEWS

Rivista di informazione del  
Dipartimento di Ingegneria Industriale

DIRETTORE RESPONSABILE

Giovanni Straffellini

REDAZIONE

Antonella Motta, Gian Franco Dalla Betta,  
Mariolino De Cecco, Michele Fedrizzi

SEGRETERIA DI REDAZIONE

Michela Monselesan

PROGETTO GRAFICO

Direzione Comunicazione e Relazioni Esterne,  
Università di Trento

FOTO

Elena Trentin e altri (Archivio UniTrento), stock.adobe.com

STAMPA

Litotipografia Alcione srl

REGISTRAZIONE

Tribunale Civile di Trento - Numero 10 del 21 giugno 2010  
del Registro Stampa

## Eventi 2023

**La professione dell'ingegnere nell'industria moderna - Ciclo di seminari per studenti e studentesse della LT**

28 aprile - 9 giugno 2023

<https://webmagazine.unitn.it/ciclo/dii/116360/la-professione-dell'ingegnere-nell'industria-moderna>

**Summer School "Nello stesso posto: il contributo delle tecniche isotopiche"**

30 maggio - 1 giugno 2023

<https://webmagazine.unitn.it/evento/lettere/115581/nello-stesso-posto-il-contributo-delle-tecniche-isotopiche>

**Summer School "Non-conventional sintering: science and technology"**

5 - 7 giugno 2023

<https://webmagazine.unitn.it/evento/dii/115557/non-conventional-sintering-science-and-technology>

**Rivestimenti organici, la soluzione per la protezione e l'estetica: trend e novità nel settore**

20 giugno 2023

<https://webmagazine.unitn.it/evento/dii/116237/rivestimenti-organici-la-soluzione-per-la-protezione-e-lestetica-trend-e-novit-nel>

**SHIFT Summer School 2023**

11 - 15 settembre 2023

<https://webmagazine.unitn.it/evento/dii/115596/shift-summer-school-2023>

**International Workshop on Sport Technology and Research**

14 - 16 settembre 2023

<https://event.unitn.it/ieee-star2023/>

## Chi siamo

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Trento (DII) si occupa prevalentemente di tecnologie avanzate nei settori dell'ingegneria dei materiali, meccanica intelligente, elettronica per l'industria e di ricerca operativa. L'obiettivo che lo anima è quello di qualificarsi a livello dei migliori standard internazionali nelle attività di ricerca, formazione e innovazione.

La missione del Dipartimento è di creare, sviluppare e trasferire conoscenze e tecnologie al mondo industriale, per il progresso sociale ed economico a livello locale, nazionale e internazionale. Tale missione si sviluppa tramite una stretta rete di collaborazioni e progetti di ricerca con un approccio strettamente multidisciplinare. Molti progetti di ricerca sono condotti in collaborazione con istituzioni universitarie, enti di ricerca internazionali e nazionali, e in collaborazione con partner industriali.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE - DII

Via Sommarive, 9

Edificio "Polo Ferrari 2" (Povo 2)

38123 Povo, Trento

<http://www.unitn.it/dii>

Direttore

Alessandro Pegoretti

Segreteria

tel. +0461 282500



## Chiedi il tuo DII NEWS

Se vuoi ricevere gratuitamente il DII News inviaci una mail di richiesta all'indirizzo [dii.supportstaff@unitn.it](mailto:dii.supportstaff@unitn.it) comunicandoci: nominativo, via, città, cap, e-mail e autorizzando l'Università di Trento al trattamento dei dati personali secondo l'ex art. 13 D. Lgs. 196/2003.



DIINEWS | 24

giugno 2023

# Il DII è Dipartimento di Eccellenza 2023-2027

Alessandro Pegoretti



Alessandro Pegoretti  
Direttore del Dipartimento

Per il secondo quinquennio consecutivo il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII) dell'Università di Trento è stato riconosciuto "Dipartimento di Eccellenza" dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR). Un risultato non scontato data l'alta competitività, ma che ha visto il DII distinguersi, a livello nazionale, come uno dei migliori dipartimenti nell'area CUN 09 Ingegneria Industriale e dell'Informazione anche per il periodo 2023-2027. Solo altri quattro atenei del nord Italia possono vantare questo riconoscimento nello stesso ambito: il Politecnico di Torino, il Politecnico di Milano, l'Università Ca' Foscari di Venezia e l'Università di Bologna.

Hanno giocato un ruolo chiave sia l'eccellente punteggio (100/100) ottenuto dai docenti e dai ricercatori del DII nella valutazione della qualità della ricerca condotta dall'Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario della Ricerca (ANVUR), sia il giudizio positivo emesso dal MUR rispetto al progetto di sviluppo dipartimentale presentato, grazie al quale è stato accordato un finanziamento complessivo di circa 7,12 milioni di euro. Quest'ultimo consentirà al DII, per i prossimi cinque anni, di reclutare docenti, personale tecnico, studenti e studentesse di dottorato, nonché nuove attrezzature.

L'obiettivo è quello di creare un polo di riferimento internazionale nell'ambito della robotica sostenibile e delle relative tecnologie e discipline abilitanti. La robotica moderna sta trasformando profondamente la società ed è uno degli obiettivi di sviluppo sostenibile fissati dall'Organizzazione delle Nazioni Unite. Secondo le stime dell'International Energy Agency, i dispositivi robotici nel settore industriale sono aumentati di circa il 16% all'anno dal 2010 e saranno utilizzati dal 60% delle industrie entro il 2025, considerando anche la diffusione di consumer robot, smart devices e robot medicali. Trattandosi di un settore in rapida espansione, la robotica avrà ricadute sull'ambiente sempre più rilevanti, legate alla produzione, all'utilizzo e al fine vita di questi dispositivi. È perciò necessario mettere in atto delle strategie per limitarne l'impatto ambientale, adottando un approccio multilivello in ogni fase del ciclo di vita.

Il progetto del DII mira a rafforzare competenze centrali per lo sviluppo sostenibile della robotica, quali nuovi materiali multifunzionali e a ridotto impatto ambientale, nuove tecnologie di fabbricazione net-shape, il light-weight design, l'economia circolare e il fine vita dei componenti, l'elettronica flessibile, i sensori e gli attuatori smart di ultima concezione (anche bioispirati), i sistemi di raccolta e accumulo dell'energia da fonti rinnovabili per l'operatività, i sistemi di controllo non-lineari, ibridi e neural-based.

I cinque pilastri della Figura 1 definiscono le strategie di questo progetto interdisciplinare: robot sostenibili e materiali multifunzionali; l'apertura di un nuovo laboratorio dipartimentale chiamato Sustainable Robotics Enabling Laboratory (SUNRISE\_Lab); la partecipazione di personale docente e ricercatore di livello internazionale, operante in ambiti caratterizzanti per le tecnologie abilitanti e il modello Industria 5.0 (meccanica, materiali, bioingegneria, elettronica, automatica, informatica); il reclutamento di nuove figure che andranno ad arricchire di competenze le aree scientifiche coinvolte; l'attivazione di borse di dottorato su temi interdisciplinari ma complementari, in cotutela con prestigiose sedi estere.

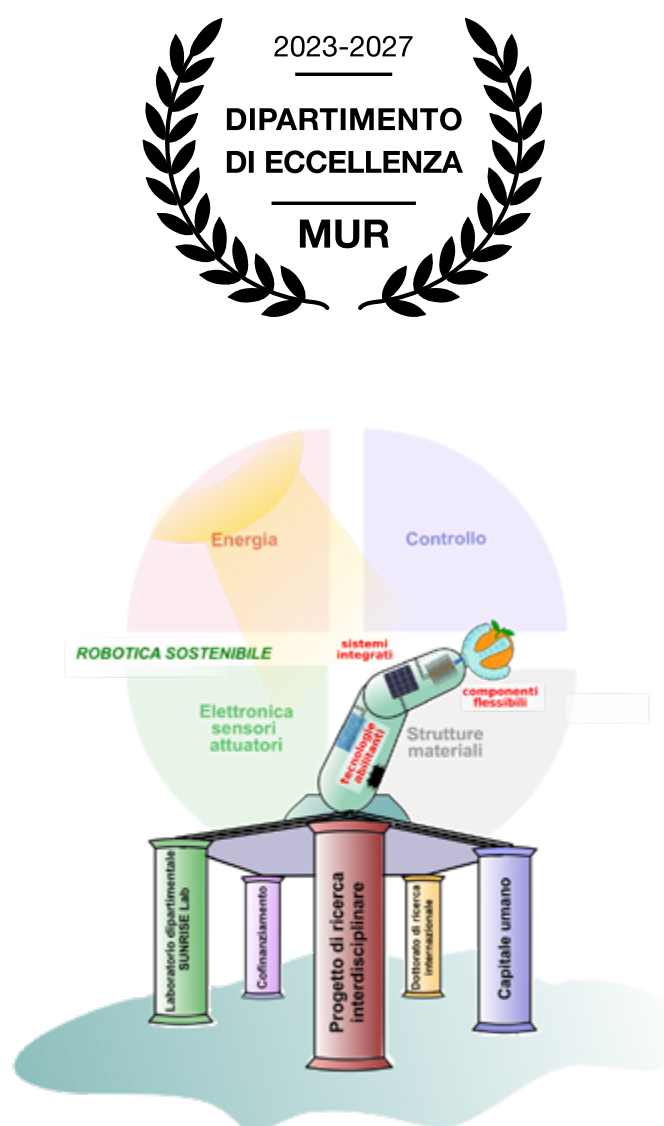


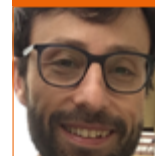
Figura 1: Riassunto grafico del progetto

# Oltre i confini della robotica convenzionale: il progetto premiato

Giacomo Moretti e Matteo Benedetti



**Giacomo Moretti**  
DII, area di ricerca:  
Meccanica applicata  
alle macchine



**Matteo Benedetti**  
DII, area di ricerca:  
Progettazione meccanica  
e costruzione di macchine

Il finanziamento ministeriale ottenuto dal Dipartimento di Ingegneria Industriale per il quinquennio 2023-2027 come “Dipartimento di Eccellenza” è il risultato di anni di duro lavoro da parte degli studenti, dei ricercatori e del corpo docente del Dipartimento che, anche grazie alla stretta collaborazione con il mondo industriale e all’attenzione alle esigenze del mercato, gli ha permesso di costruirsi una reputazione scientifica e didattica di livello internazionale.

Il DII è composto da 58 docenti, le cui competenze spaziano dall’ingegneria dei materiali alla mecatronica, dalla gestione dei processi produttivi alla bioingegneria, dall’informatica, chimica e fisica all’ingegneria dei sistemi. Proporre un progetto credibile e sostenibile da parte di un Dipartimento così cosmopolita e diversificato è stata una sfida intellettualmente stimolante. Di qui la scelta di presentare un progetto multidisciplinare e al passo con i tempi, in grado di coinvolgere tutte le eccellenze presenti all’interno, incentrato sul tema della *robotica sostenibile*.

Si è partiti dalla constatazione che, man mano che le tecnologie robotiche e mecatroniche diventano pervasive nella nostra vita quotidiana e negli ambienti di lavoro, le forme assunte dai robot vanno incontro a un’evoluzione. L’immagine del robot rigido a cui siamo abituati, mutuata da contesti produttivi tradizionali, sta lasciando spazio a una visione più ampia, che include sistemi diversi, il cui spettro d’azione spazia dalla riabilitazione all’agricoltura di precisione, dall’assistenza di soggetti fragili alla manipolazione di beni delicati. È in questo panorama che sono maturate tematiche quali la *soft robotics*, che punta a sviluppare robot dotati di arti e interfacce flessibili, adatti ad interagire con gli esseri viventi, o la robotica “*wearable*”, che propone un’immagine nuova di “dispositivo robotico”, basata su sistemi indossabili (esoscheletri, indumenti “smart”) in grado di misurare parametri fisiologici e interagire col soggetto che li porta.

Questa visione, che guarda ai robot come sistemi sempre più integrati, vicini e ispirati agli esseri viventi, presenti nei contesti quotidiani, tende naturalmente lo sguardo alla tematica della *sostenibilità*, intesa qui come la capacità di contribuire a obiettivi sociali, ambientali ed energetici di sviluppo della società.

In questo senso, le ricerche che verranno intraprese nel prossimo quinquennio esploreranno diversi aspetti della sostenibilità in robotica, inclusi:

- gli aspetti sociali, ad esempio lo sviluppo di robot biomedicali, sistemi indossabili per la riabilitazione o l’assistenza di pazienti affetti da patologie motorie, indumenti “intelligenti” in grado di monitorare i parametri fisiologici o trasmettere degli stimoli per facilitare i soggetti che li indossano nello svolgimento di funzioni quotidiane;
- gli aspetti ambientali che, da un lato, si declineranno nella sintesi di materiali “green”, biodegradabili o derivanti da processi di riciclo e, dall’altro, in applicazioni che perseguono il cosiddetto paradigma della *robotica per la sostenibilità*, quali il monitoraggio ambientale o l’intervento in casi di calamità ed eventi estremi;
- gli aspetti energetici per migliorare l’efficienza energetica dei robot, sia tramite lo sviluppo di sistemi di controllo e movimentazione a più basso consumo, sia tramite il miglioramento della loro autonomia attraverso dispositivi di recupero di energia da fonti rinnovabili o, nel caso di sistemi indossabili, dal movimento stesso dell’utente.

I progetti di ricerca si articoleranno attraverso diversi *livelli* che porteranno allo sviluppo di componenti e sistemi robotici sostenibili con complessità crescente.

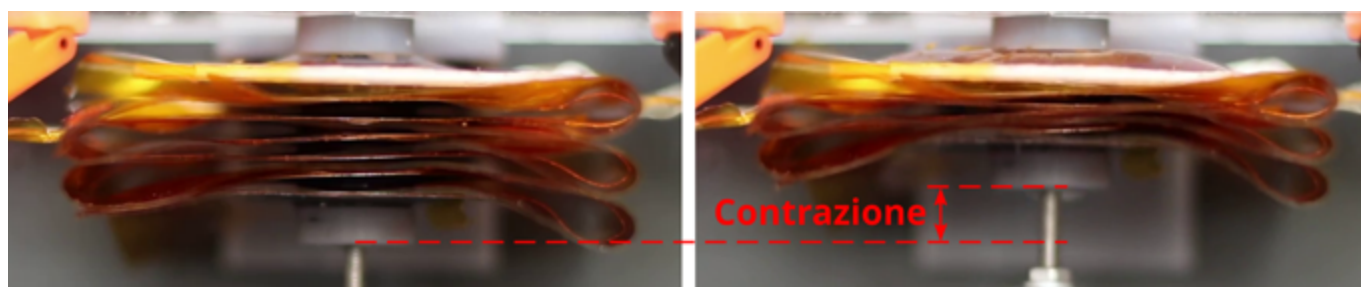


Figura 1: Un esempio di muscolo artificiale che si contrae in risposta a uno stimolo elettrico, sviluppato nel progetto “Dipartimento di Eccellenza 2018-2022”.



A un primo livello, si svilupperanno *tecnologie abilitanti* che rappresenteranno l'ossatura dei futuri sistemi robotici. I progetti in quest'ambito contribuiranno allo sviluppo di nuovi materiali attivi, in grado di produrre una deformazione in risposta a stimoli elettrici o termici, o elettroniche stampate, che permetteranno di realizzare circuiti e dispositivi di comunicazione direttamente su tessuti o componenti strutturali.

Una serie di progetti operanti a un livello intermedio guarderà poi allo sviluppo di *sottosistemi e componenti* che conferiranno ai robot le loro abilità funzionali. In questo contesto, verranno sviluppati sensori, che rappresenteranno la "pelle" e gli "occhi" dei robot, e attuatori, che ne costituiranno i "muscoli".

A un terzo livello, tutti questi tasselli verranno integrati a formare dei *sistemi complessi*, dei veri e propri "robot"... o quasi. Tenendo fede all'interpretazione futuristica di robotica che ha ispirato la stesura del progetto, le attività di prototipazione si concentreranno sullo sviluppo di *soft robots* movimentati da muscoli artificiali ad alta efficienza, fatti con materiali flessibili e intelligenti, e *smart garments*, ossia indumenti attivi sui quali saranno installati sensori e attuatori in grado di assistere gli utenti nelle proprie attività.

E chissà che la corazza dei futuri Iron Man non esca proprio dai laboratori del DII!

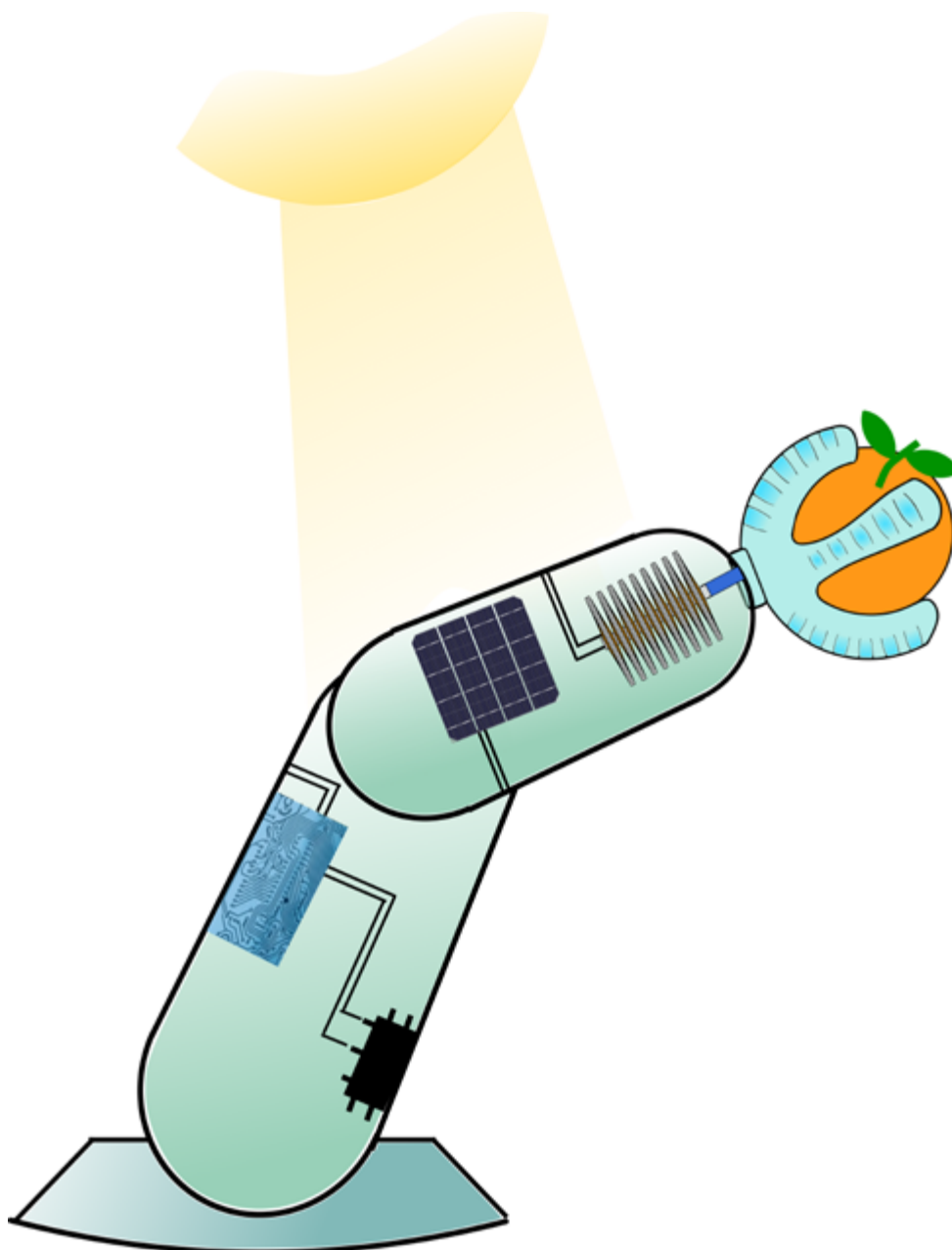


Figura 2: I robot del futuro saranno in grado di raccogliere l'energia di cui hanno bisogno da fonti rinnovabili, saranno sensorizzati e in grado di interagire in maniera "soft" col mondo circostante

# Anno nuovo, corso nuovo: come cambia la Laurea triennale in Ingegneria Industriale

Daniele Fontanelli



*Daniele Fontanelli*  
Responsabile del corso di  
laurea triennale  
in Ingegneria Industriale

Il mondo produttivo odierno è chiamato ad affrontare sfide sempre più complesse e al contempo affascinanti, complice la centralità dell'Industria 4.0 e l'evoluzione verso l'Industria 5.0 che puntano ad accelerare la transizione sostenibile e digitale. Ciò significa innovare, sviluppare nuovi materiali e tecnologie, migliorare prodotti e servizi, saper organizzare e gestire più efficacemente processi e sistemi.

In questo contesto, l'ingegneria industriale gioca un ruolo chiave nello sviluppo di processi innovativi, nel garantire la sostenibilità e nel ridurre gli sprechi. In breve, punta a migliorare la qualità di vita della società.

Alla luce di tale premessa, il Dipartimento di Ingegneria Industriale ha voluto adeguare e rendere ancora più mirata la propria offerta formativa rinnovando i curricula proposti per il corso di laurea triennale in Ingegneria Industriale (classe L9).

Dall'anno accademico 2023/2024, infatti, gli studenti e le studentesse avranno la possibilità di indirizzare in maniera più specifica il proprio percorso di studi scegliendo, a partire dal secondo semestre del secondo anno, non più fra due, bensì fra tre proposte innovative. I vecchi percorsi formativi "Sistemi" e "Tecnologie" lasceranno il posto a:

- Materiali per l'industria sostenibile;
- Robotica e Meccatronica;
- Gestionale.

Il curriculum dedicato ai "Materiali per l'industria sostenibile" approfondisce lo studio dei materiali tradizionali e di quelli innovativi, del ciclo di vita dei prodotti, delle tecnologie di trasformazione e dei processi di produzione nell'ottica della sostenibilità. Fornisce competenze di base dell'ingegneria dell'informazione per far comprendere le potenzialità offerte dalle tecnologie informatiche e il loro impatto nelle realtà produttive.

Il curriculum incentrato su "Robotica e Meccatronica" è finalizzato alla formazione di ingegneri orientati all'industria manifatturiera di nuova generazione. Si sofferma sullo studio di sottosistemi di differente natura, come quelli di tipo meccanico, elettrico, elettronico e informatico, arrivando a toccare le principali specificità dell'ingegneria dell'informazione. Particolare enfasi è data ai sistemi meccatronici, alla robotica e alle macchine intelligenti.

Il curriculum "Gestionale", invece, fornisce le conoscenze di base utili agli ingegneri industriali per interpretare le sfide dell'organizzazione e della gestione aziendale proprie degli impianti produttivi di ultima generazione. La preparazione verte principalmente sulle tecniche e le tecnologie di gestione e sul controllo degli impianti industriali complessi, con uno sguardo rivolto all'evoluzione del futuro.

La formazione in questi ambiti verrà perfezionata durante il terzo anno, anche attraverso corsi a scelta, consentendo di ricevere una preparazione propedeutica (ma non vincolante) alle lauree magistrali proposte dal DII UniTrento o da altri Atenei.

Se da un lato, quindi, i tre "indirizzi" sono pensati per preparare laureati in grado di rispondere alle richieste di un mercato in continua evoluzione, dall'altro offrono ai futuri ingegneri industriali la possibilità di diventare protagonisti di un processo di rinnovamento e avanguardia continui, forti delle conoscenze tecniche acquisite in fase di formazione e della propria creatività.

Per maggiori informazioni, consultare il sito <https://offertaformativa.unitn.it/it/ingegneria-industriale>



Una presentazione dei nostri corsi di laurea

# INSPIRE: al via lo studio di nuovi metodi matematici per svelare i segreti dei sistemi naturali



Giulia Giordano  
DII, area di ricerca:  
Automatica

Giulia Giordano

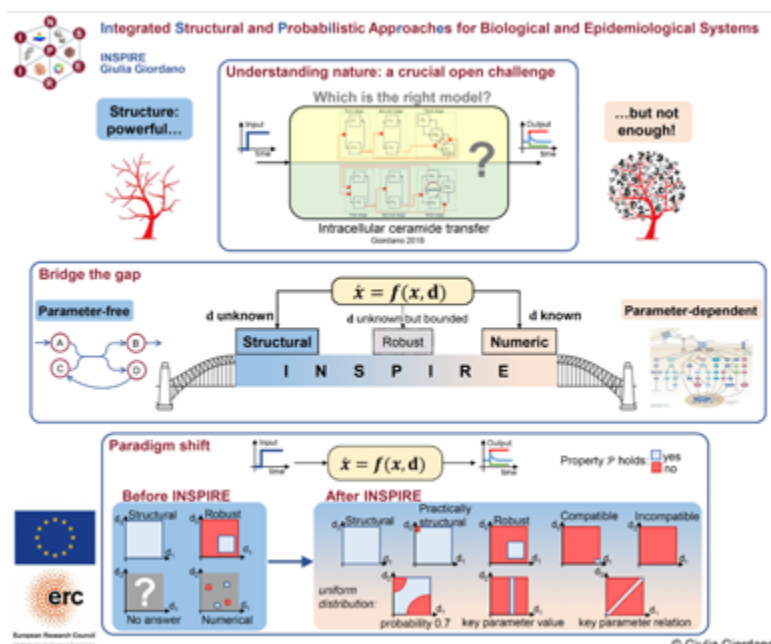
Sfide cruciali richiedono di svelare i meccanismi segreti della natura. Per arginare le epidemie, combattere la resistenza agli antibiotici, sviluppare nuove terapie e biotecnologie, dobbiamo comprendere comportamenti complessi che i sistemi naturali preservano con straordinaria robustezza, nonostante le enormi variazioni nei parametri e l'estrema incertezza del contesto in cui operano. Studiare i comportamenti dinamici non lineari che caratterizzano i sistemi in natura è estremamente difficile, a causa della complessità di tali sistemi e della moltitudine di parametri che ne determinano il funzionamento, ma è fondamentale per comprendere fenomeni importanti, dalle dinamiche cellulari all'insorgenza di malattie, fino alla diffusione di epidemie.

Per affrontare questo problema, finora sono stati proposti due approcci diversi. Da un lato, simulazioni che dipendono dai valori dei parametri possono predire il comportamento dei sistemi naturali caso per caso; tuttavia, i modelli esatti e i valori precisi dei parametri spesso non sono noti, mentre certi comportamenti qualitativi permangono nonostante enormi variazioni nei parametri, perché dipendono esclusivamente dalla struttura delle interazioni tra i componenti del sistema. Dall'altro lato, approcci strutturali che non dipendono dai valori dei parametri permettono di verificare se un sistema preserva una certa proprietà (comportamento qualitativo) indipendentemente dai suoi parametri ed esclusivamente grazie alla sua struttura, come spesso accade in natura.

Gli approcci strutturali, a cui ho lavorato per anni, sono molto potenti quando consentono di certificare che un dato sistema manifesterà sempre un certo comportamento qualitativo per via della sua peculiare struttura. Tuttavia, quando una proprietà non vale strutturalmente, tali approcci non forniscono alcuna risposta decisiva. Nuovi metodi sono dunque necessari per capire perché la proprietà non vale strutturalmente, quali caratteristiche del sistema la impediscono, quali parametri chiave del sistema devono essere finemente regolati per indurla.

Il mio progetto INSPIRE (Integrated Structural and Probabilistic Approaches for Biological and Epidemiological Systems), finanziato dallo European Research Council (ERC), mira a superare le limitazioni di ciascuno di questi approcci e sfruttare i vantaggi di entrambi. Integrando per la prima volta metodologie strutturali, robuste e probabilistiche, costruirò una nuova teoria matematica e nuovi algoritmi per analizzare e controllare fenomeni incerti in biologia e in epidemiologia.

Quali caratteristiche di un sistema consentono o impediscono un certo comportamento? Come possiamo intervenire con precisione sul sistema in modo da indurre un comportamento desiderato? Le metodologie che svilupperò per rispondere a queste domande, adatte alle peculiarità dei sistemi naturali, offriranno una comprensione più profonda dei meccanismi naturali e aiuteranno a identificare bersagli terapeutici per curare malattie, a progettare sistemi biologici con il comportamento desiderato, a prevedere e controllare la diffusione di epidemie.



© Giulia Giordano

Il progetto INSPIRE in sintesi

# Le sfide della nuova industria

Nikola Suzic



**Nikola Suzic**  
DII, area di ricerca:  
Ingegneria economico-gestionale

Un decennio dopo l'introduzione dell'Industria 4.0, ci troviamo di fronte alla centralità umana della nuova Industria 5.0. Tuttavia, prima che l'industria e la ricerca intraprendano questo nuovo corso, dovremmo rivalutare il grado in cui l'Industria 4.0 è stata implementata e le sfide che ancora ci attendono. In questo articolo vogliamo fare luce esattamente su questo aspetto per capire a che punto siamo e quali sfide dovranno essere affrontate in futuro.

Quello di Industria 4.0 è un concetto volto a raggiungere l'integrazione delle parti fisiche e cibernetiche del processo di produzione tramite reti, guidato dalle tecnologie dell'Industria 4.0 utilizzate per la previsione, il controllo, la manutenzione e l'integrazione dei processi di produzione. Queste tecnologie sono rappresentate da: sistemi ciber-fisici (CPS), Internet delle cose (IoT), analisi dei Big data (BDA), Cloud computing, Fog and edge computing, realtà aumentata e realtà virtuale, robotica, Cybersecurity, tecnologie web semantiche e manifattura additiva.

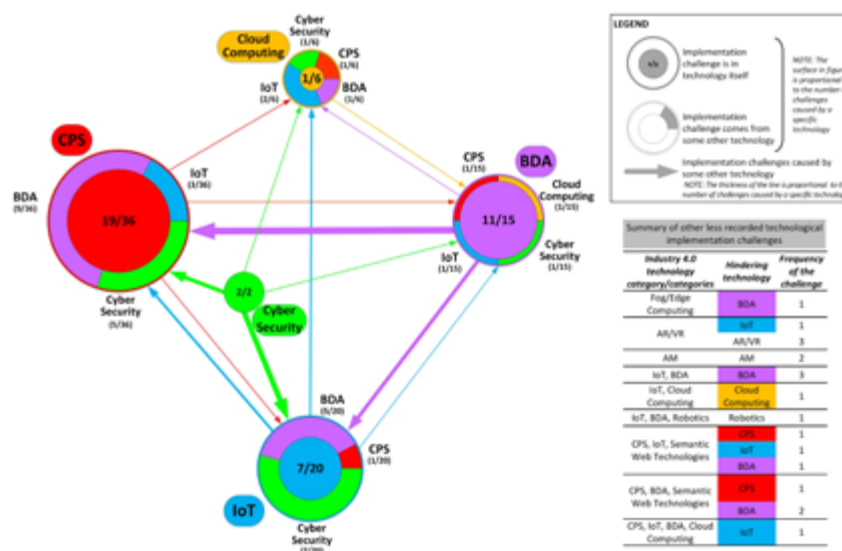
Ci siamo prefissati di capire meglio le tecnologie dell'Industria 4.0 e lo stato dell'arte della loro implementazione, e soprattutto di comprendere le relazioni che fungono da ostacolo alle varie tecnologie (Figura 1). Le sfide tecnologiche di implementazione dell'Industria 4.0 sono suddivise tra otto diverse tecnologie singole e altri sei gruppi di tecnologie, con quattro che dominano la lista: CPS, IoT, BDA e Cloud computing. Più sfide implicano più attività nell'implementazione industriale di una tecnologia specifica. Di conseguenza, sosteniamo che principalmente CPS, ma anche IoT, BDA e cloud computing, rappresentino l'attuale obiettivo dell'implementazione di Industria 4.0 nell'industria e nella ricerca, e rimarranno tali nel prossimo futuro.

I risultati mostrano anche che la tecnologia più ostacolante per l'implementazione dell'Industria 4.0 è BDA, seguita da CPS, IoT e cybersecurity. È interessante notare che quasi il 90% della cybersecurity e il 66% delle sfide BDA ostacolano l'implementazione di altre tecnologie (a differenza di IoT e CPS, ad esempio). Pertanto, possiamo dire che le due principali tecnologie che ostacolano l'implementazione delle altre, nell'Industria 4.0, sono BDA e cybersecurity. Questo ci porta a credere che, nel prossimo futuro, il lavoro dei ricercatori e dell'industria si concentrerà su di esse.

Durante la ricerca ci siamo anche resi conto che tutte le sfide tecnologiche di implementazione dell'Industria 4.0, indipendentemente dalla tecnologia, rientrano in un numero molto limitato di temi generali. Questi ultimi, in ordine di frequenza di apparizione, sono: dati, maturità, protezione, integrazione, standard, complessità, comunicazione e sicurezza. Tale scoperta è importante per i progettisti di sistemi industriali perché sottolinea che, indipendentemente dalla combinazione di tecnologie implementate in un sistema, le sfide di implementazione tecnologica ruoteranno attorno ai temi sopra identificati. Pertanto, l'esatta combinazione e frequenza dei temi potrebbe variare negli anni avvenire, ma è molto probabile che rimangano quelli che abbiamo identificato.

In conclusione, la nostra ricerca offre una prospettiva tecnologica sulle sfide che i progettisti di sistemi industriali dovranno affrontare quando implementano l'Industria 4.0, il che è particolarmente importante oggi con la potenziale transizione verso l'Industria 5.0. Speriamo che questa ricerca e altre simili facciano luce sulle direzioni future da intraprendere.

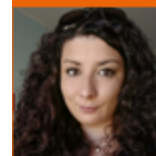
\*Rikalovic, A., N. Suzic, B. Bajic, and V. Piuri (2022) "Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective", *IEEE Systems Journal*, 16 (2): 2797–2810.



Sintesi delle sfide tecnologiche di implementazione dell'Industria 4.0 e delle relazioni ostacolanti (Rikalovic et al., 2022)\*



# Approcci di ingegneria tissutale basati sulla fibroina della seta per il trattamento della degenerazione del disco intervertebrale



Francesca Agostinacchio  
DII, area di ricerca:  
Medicina rigenerativa e  
ingegneria dei tessuti

Francesca Agostinacchio

Ogni anno 266 milioni di persone soffrono di problemi alla schiena la cui principale causa è la degenerazione del disco intervertebrale. Il numero è destinato ad aumentare a causa dell'invecchiamento della popolazione, ponendosi come un problema socio-economico.

Il disco intervertebrale, che ha la funzione di assorbire lo shock meccanico della colonna vertebrale, è una struttura molto complessa e non presenta confini distinti tra la sua parte esterna e interna, ma un gradiente di proteine e matrice extracellulare. Ogni parte presenta proprietà biologiche e meccaniche diverse. La parte esterna, l'anello fibroso, è una struttura fibrosa, a lamelle e con cellule dalla forma allungata, che supporta meccanicamente la parte centrale, il nucleo polposo composto al 90% da acqua, ed è continuamente sottoposto a compressione da parte della colonna vertebrale. Attualmente, nella pratica clinica non esistono trattamenti volti alla rigenerazione del tessuto, ma nei casi di degenerazione più severi l'intervento chirurgico è l'unica soluzione. Tuttavia, se da un lato questo porta alla scomparsa del dolore, dall'altro spesso riduce la mobilità della paziente e può avere effetti collaterali tali da rendere necessari ulteriori interventi chirurgici. Uno dei maggiori problemi relativi alle protesi utilizzate in tali circostanze è la scarsa e debole osteointegrazione con il tessuto osseo adiacente.

Di qui la necessità di migliorare sia l'osteointegrazione delle protesi attualmente utilizzate, sia gli approcci rigenerativi per garantire anche terapie personalizzate al paziente. L'obiettivo è quello di ripristinare la struttura e la funzione del disco intervertebrale.

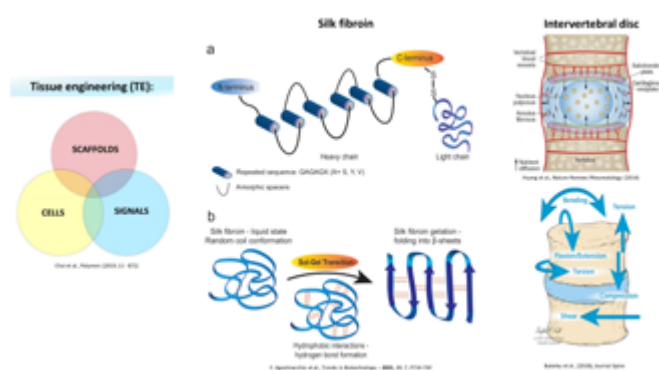
Per poter sviluppare tali approcci, il lavoro di dottorato si è focalizzato su un polimero naturale: la fibroina della seta. La fibroina è il maggior componente della seta e, per la sua struttura e composizione amminoacidica, presenta proprietà estremamente accattivanti per l'applicazione biomedica. Tra queste, la biocompatibilità, la biodegradabilità, la facile manipolazione in soluzioni acquose e la possibilità di modellare le sue proprietà chimiche, meccaniche e strutturali a seconda del tessuto target. Tali elementi la rendono un materiale versatile, tant'è che è stata utilizzata sia come materiale principale per mimare e fabbricare dei sostituti di disco intervertebrale tramite 3D bioprinting per la rigenerazione del tessuto, sia come materiale bioattivo per protesi metalliche al fine di migliorare l'osteointegrazione.

Per il primo approccio, analizzato in collaborazione con la Tufts University per dieci mesi, è stata studiata la fibroina in forma di idrogel applicata a tecniche di stampa 3D (bioprinting), che rappresentano la nuova frontiera per la fabbricazione di sostituti di tessuti e organi ad alta risoluzione e complessità, partendo da immagini ad alta risoluzione del paziente e, quindi, permettendo la stampa di costrutti in

maniera personalizzata. È stata così dimostrata la possibilità di utilizzare la seta come materiale continuo tra la parte interna del disco e quella esterna, modificando le sue proprietà meccaniche tramite diversi pesi molecolari. Lo studio si è focalizzato sullo sviluppo della tecnica e della caratterizzazione di tipo chimico, strutturale, biologico e meccanico, dimostrando la stabilità del materiale nel tempo, la resistenza meccanica e un adeguato supporto per la crescita cellulare.

Nel secondo approccio, la fibroina è stata utilizzata per creare un materiale spugnoso in grado di migliorare l'osteointegrazione delle protesi vertebrali. La fibroina è stata studiata in presenza e in assenza di un porogeno per controllare meglio la formazione dei pori, caratteristica fondamentale per poter garantire l'adesione e la colonizzazione delle cellule, la diffusione di ossigeno e nutrienti e, quindi, l'osteointegrazione. Nello specifico, le spugne sono state fabbricate tramite la tecnica di photo-crosslinking che permette di avere un controllo sulle cinetiche di formazione del campione. Sono stati inoltre analizzati campioni in presenza e in assenza del porogeno per valutare l'impatto della composizione dei substrati sulle proprietà meccaniche, sulla porosità e la differenziazione delle cellule staminali. È stato dimostrato che, nonostante tutte le condizioni supportassero la differenziazione di cellule staminali in cellule dell'osso, la presenza del porogeno migliorava significativamente i risultati rispetto alle altre condizioni.

Infine, il corso di dottorato ha permesso di dimostrare e confermare la versatilità della fibroina per diverse applicazioni, come la stampa di idrogeli e spugne, e soprattutto che la proteina selezionata è un ottimo candidato per la rigenerazione del disco intervertebrale.



Approcci per favorire la rigenerazione del disco intervertebrale

# Smart coatings for energy saving buildings

Andrea Rosati



Andrea Rosati  
DII, area di ricerca:

Materiali smart per edifici a risparmio energetico

L'attività di ricerca è stata incentrata sulla sintesi, attraverso il processo ecosostenibile del Sol-Gel, di pigmenti a base di  $\text{YInO}_3 - \text{ZnO}$  aventi riflettanza nel vicino infrarosso, o near infrared (NIR), basati su diversi elementi cromofori (Mn, Cu, Fe), con l'obiettivo di disperderli in legante per ottenere rivestimenti "freddi", o "cool coating". Un rivestimento "freddo" è costituito da una vernice contenente pigmenti colorati che non assorbono la porzione del vicino infrarosso dello spettro solare. I rivestimenti freddi applicati sulla superficie degli edifici forniscono una soluzione efficace per il raffreddamento passivo degli edifici all'interno e influenzano il microclima esterno locale, mitigando l'effetto delle isole di calore urbane, o Urban Heat Island Effect (UHIE).

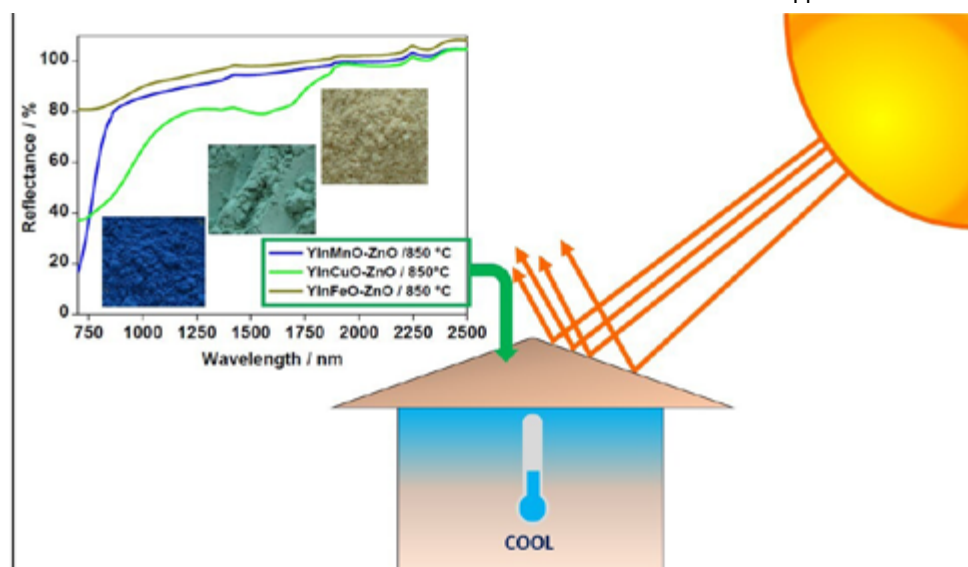
Lo scopo primario è stato quello di produrre pigmenti secondo una metodologia ecocompatibile, utilizzando materie prime non tossiche, tempi brevi e basse temperature nel processo di sintesi, nonché l'assenza di prodotti residui, al termine del processo produttivo. I pigmenti ottenuti sono risultati essere caratterizzati da una buona riflettanza nel vicino infrarosso, tale da garantirne un possibile utilizzo nel campo dei cool coating. Per realizzare i rivestimenti, i pigmenti sono stati dispersi in due diversi leganti (PMMA standard e un legante industriale). I pigmenti più interessanti in termini di riflettanza NIR sono stati studiati testando la loro capacità fotocatalitica per verificare se questi pigmenti fossero adatti come materiali smart per applicazioni edilizie.

La parte sperimentale dell'attività può essere suddivisa in due parti principali:

1. **Sintesi e caratterizzazione dei pigmenti.** I pigmenti sono stati sintetizzati e caratterizzati secondo analisi chimico-fisiche, in particolare: spettroscopia Infrarossa in Trasformata di Fourier (FT-IR), osservazioni SEM-EDXS, diffrazione dei raggi X e identificazione nello spazio colore CIE-1976  $L^*a^*b^*$  secondo misure colorimetriche. La capacità di riflettanza nel vicino infrarosso (NIR) è stata testata con misurazioni di riflettanza NIR.
2. **Preparazione dei rivestimenti e caratterizzazione.** I pigmenti sono stati dispersi in due diversi leganti e le vernici ottenute sono state caratterizzate e testate. La capacità dei rivestimenti di agire come superfici fredde è stata valutata mediante misurazioni di riflettanza NIR, irradiando la superficie dei rivestimenti utilizzando diverse sorgenti di radiazioni (lampade alogene, lampade a infrarossi, e lampade allo xenon) e verificando qual è la sorgente di radiazione che più si avvicina a quella del sole, tramite analisi multispettrali.

I progressi significativi compiuti in ambito tecnico-scientifico possono essere riassunti nei seguenti punti chiave:

- (a) Miglioramento del processo di sintesi Sol-Gel per pigmenti a base di  $\text{YInO}_3 - \text{ZnO}$ , diminuendo i tempi e le temperature convenzionalmente impiegate, nonché migliorando le proprietà del prodotto finale e modificando gli elementi nella struttura di base.
- (b) Rendere possibile l'applicazione di pigmenti attualmente impiegati solo in ambito accademico anche in campo industriale. I pigmenti sono stati dispersi in due diversi leganti: un PMMA standard e un legante acrilico industriale.
- (c) Trovare una sorgente luminosa che possa costituire un modello tale da approssimare al meglio la radiazione solare.



Il processo alla base dello studio dei pigmenti per gli edifici

# Production of bioceramic components by 3D printing starting from powders synthesized from natural products

Francesca Cestari



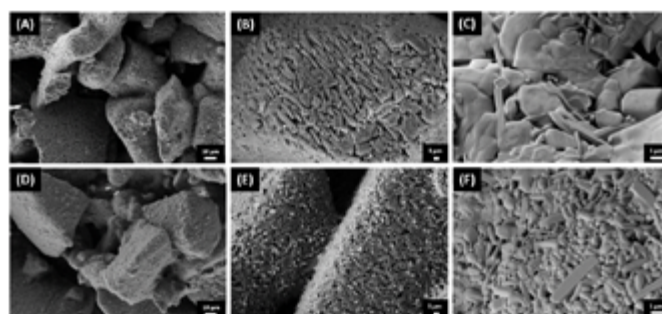
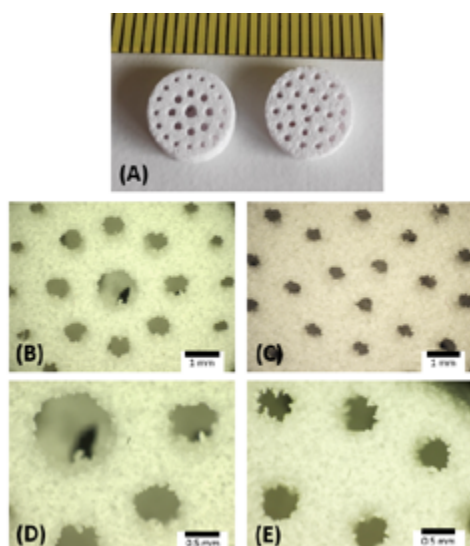
Francesca Cestari  
DII, area di ricerca:  
Bioceramici, stampa 3D

Questo progetto di dottorato si è occupato della produzione di *scaffold* per la rigenerazione ossea mediante stampa 3D, utilizzando polveri bioceramiche di origine naturale. La prima parte del lavoro ha riguardato la sintesi di idrossiapatite (HA) nanometrica a partire da tre diverse fonti naturali di carbonato di calcio, gusci d'uovo, gusci di cozze e ossi di seppia. Queste fonti sono state selezionate per la loro diversa composizione mineralogica: calcite nel guscio d'uovo, aragonite negli ossi di seppia e calcite/aragonite nei gusci di mitili. Dopo un'attenta caratterizzazione delle materie prime, queste sono state macinate e trasformate in HA attraverso un processo a bassa temperatura aggiungendo fosfato di ammonio o acido fosforico e quindi essiccate a temperature comprese tra 20°C e 150°C. L'influenza del tempo di macinazione, del pH della soluzione e della temperatura di essiccazione è stata studiata in termini di efficienza del processo di sintesi. Si è scoperto in particolare che l'aragonite si trasforma più facilmente della calcite, mentre il basso pH e le alte temperature di essiccazione favoriscono di molto la reazione. Ciò ha portato alla pubblicazione *Low-temperature synthesis of nanometric apatite from biogenic sources*, Cestari F., Chemello G., Galotta A. & Sglavo V. M. (2020), *Ceramics International*, 46(15), 23526–23533.

La seconda parte del progetto ha riguardato la sinterizzazione delle polveri precedentemente sintetizzate e la valutazione in vitro della bioattività dei materiali ottenuti. Questo studio è stato raccolto nella pubblicazione *Nano-Hydroxyapatite Derived from Biogenic and Bioinspired Calcium Carbonates: Synthesis and In Vitro Bioactivity*, Cestari F., Agostinacchio F., Galotta A., Chemello G., Motta A., & Sglavo V.M. (2021), *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 2). Tutti i materiali sono risultati non citotossici e si è visto che promuovono una buona adesione e proliferazione delle cellule.

La terza parte del lavoro ha riguardato la produzione di *scaffold* 3D in biocomposito tramite stampa 3D per estrusione. Le nanopolveri come sopra prodotte sono state utilizzate in combinazione con PCL (policaprolattone) presso l'istituto ortopedico Rizzoli (Bologna), utilizzando una biostampante direttamente su piastre sterili. È stato scoperto che gli *scaffold* contenenti HA bioderivato promuovono una migliore adesione e proliferazione delle cellule osteoblastiche rispetto al PCL puro, oltre a mostrare migliori proprietà meccaniche. Questo studio ha portato alla seguente pubblicazione: *3D printing of PCL/nano-hydroxyapatite scaffolds derived from biogenic sources for bone tissue engineering*, Cestari F., Petretta M., Yang Y., Motta A., Grigolo B., & Sglavo V. M. (2021), *Sustainable Materials and Technologies*, 29, e00318.

La quarta e ultima parte del progetto è stata svolta presso il BAM (Istituto federale per la ricerca e il collaudo dei materiali) di Berlino. L'obiettivo era la produzione di *scaffold* porosi di derivazione biologica utilizzando la stampa 3D binder-jetting. Siccome la dimensione nanometrica delle polveri di bioderivazione rappresenta un limite per il processo binder jetting, la polvere di derivazione da osso di seppia è stata miscelata con una polvere vetroceramica, brevettata da BAM, di granulometria maggiore. Gli *scaffold* sono stati stampati con due diverse dimensioni dei pori, uniformi e a gradiente. La bioattività degli *scaffold* è risultata molto simile per le due geometrie di pori, determinando in ogni caso una rapida adesione cellulare e un aumento della proliferazione durante 10 giorni di coltura. I risultati sono stati raccolti nella pubblicazione *Powder 3D Printing of Bone Scaffolds with Uniform and Gradient Pore Sizes Using Cuttlebone-Derived Calcium Phosphate and Glass-Ceramic*, Cestari F., Yang Y., Wilgig J., Guenster J., Motta A., & Sglavo V.M., *Materials* 2022, 15, 5139.



# Plasma-Assisted Deposition of Natural Polymers for Flexible Biosensor Applications

Artem Arkhangelskiy



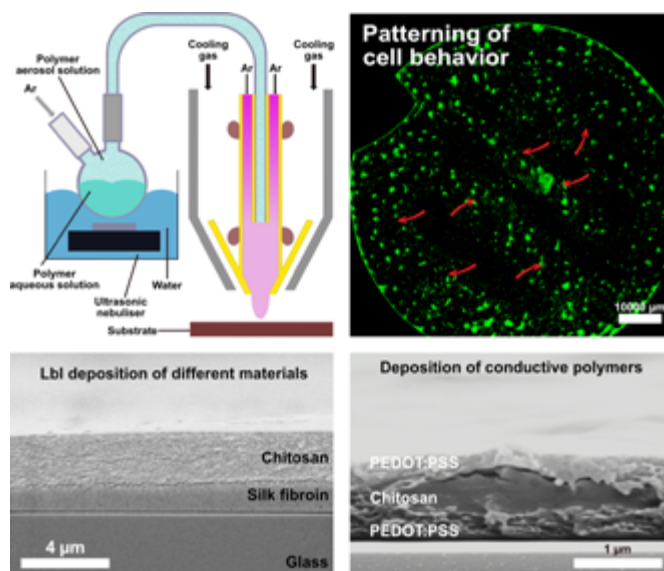
Artem Arkhangelskiy  
DII, area di ricerca:  
Biomedical Engineering

Deposizione assistita da plasma di fibroina di seta e chitosano per: rivestimenti bioattivi con elevata stabilità e adesione alla superficie sottostante; biofilm stratificati con la capacità di controllare e guidare il comportamento delle cellule; rivestimenti elettroattivi in PEDOT:PSS per la realizzazione di strutture stratificate di biosensori.

Negli ultimi decenni i biosensori flessibili hanno guadagnato sempre più attenzione nella comunità scientifica e medica. Essi forniscono un modo semplice e veloce di monitorare le condizioni fisiologiche del corpo umano, raccogliendo e analizzando diversi tipi di dati, come la temperatura, la contrazione, l'allungamento, la pressione e il movimento, insieme a un'ampia gamma di metaboliti fisiologici, tra cui il lattato, il cortisolo e altri piccoli ioni. La flessibilità e l'estensibilità sono le caratteristiche chiave dei biosensori flessibili che consentono di adattarsi alle dinamiche fisiche e all'ambiente non rigido del corpo umano, e di migliorare l'interazione tra analiti ed elementi di rilevamento. Inoltre, applicazioni specifiche richiedono che i biosensori impiantabili o indossabili abbiano un alto livello di biocompatibilità e di biodegradabilità insieme ai requisiti essenziali dei biosensori, quali accuratezza, selettività, sensibilità, ripetibilità e stabilità. Per soddisfare questi requisiti (flessibilità, biodegradabilità e biocompatibilità), il chitosano e la fibroina di seta sono stati proposti per la produzione di biosensori grazie alle loro notevoli proprietà, come la non tossicità e l'attività immunologica. Ai polimeri naturali sono stati applicati diversi approcci produttivi, dalla deposizione di un sottile rivestimento alla produzione di strutture solide relativamente grandi, al fine di ottenere la complessità strutturale necessaria per la realizzazione della struttura del biosensore. Nonostante i progressi nei processi di fabbricazione, la continua evoluzione dei biosensori flessibili da strutture a 2-3 strati a strutture multistrato richiede lo sviluppo di nuovi metodi di deposizione/produzione per i polimeri naturali, al fine di fornire un elevato livello di adesione fra gli strati, stabilità e capacità di modellazione.

Lo scopo di questa attività di ricerca è stato quello di sviluppare e ottimizzare nuovi metodi di deposizione di fibroina di seta e chitosano, tramite torcia al plasma atmosferico, evidenziando l'efficacia dei processi al plasma nella formazione di rivestimenti sottili. I principali progressi sono rappresentati dalla capacità del processo di fornire una forte adesione al substrato sottostante e dalla stabilità a lungo termine dei film in ambiente acquoso, senza necessità di metodi di post o pre-trattamento. Inoltre, è stato dimostrato che il plasma ha una bassa influenza sulla struttura dei polimeri naturali, preservandone le proprietà, in particolare l'interazione positiva con l'ambiente biologico. Durante la deposizione, il flusso continuo di argon e azoto provoca l'essiccazione della struttura, consentendo la deposizione strato per strato e la modellazione di più materiali su un singolo substrato. La capacità di stratificazione e modellazione è stata estesa per legare insieme chitosano e fibroina di seta. La risposta biologica dei pattern di fibroina/chitosano assistiti da plasma freddo è stata testata a contatto con le cellule, valutando la loro risposta in termini di adesione e distribuzione e rivelando la loro capacità di controllare il meccanismo di assorbimento delle proteine e di guidare il comportamento delle cellule. La deposizione assistita da plasma di PEDOT:PSS è stata studiata per realizzare strutture conduttive di base, per costituire una piattaforma di partenza per la costruzione della parte sensibile nei biosensori flessibili.

Questa attività di ricerca rappresenta un miglioramento dell'attuale stato dell'arte sulla deposizione al plasma a pressione atmosferica, nella direzione di realizzare una piattaforma adatta allo sviluppo di biosensori su substrati sia rigidi che flessibili.



Descrizione visiva dell'attività svolta



# Flexible and 3D printable conductive composites for pressure sensor applications

Mayara Cristina Bertolini



Mayara Cristina Bertolini  
DII, area di ricerca:  
Polymer composites

Lo scopo della ricerca era lo sviluppo di compositi polimerici flessibili e altamente elettricamente conduttivi, tramite stampaggio a compressione e stampa 3D, per possibili applicazioni come materiali piezoresistivi o piezoelettrici per sensori di pressione. In particolare, sono stati preparati compositi aventi come matrice miscele di polivinilidene fluoruro/poliuretano termoplastico (PVDF/TPU) e come filler conduttivo varie frazioni di nerofumo-polipirrolo (CB-PPy). Sono state quindi utilizzate diverse tecniche di caratterizzazione per valutare le proprietà meccaniche, termiche, chimiche ed elettriche, la morfologia e la stampabilità dei materiali studiati.

In primo luogo, le miscele PVDF/TPU con diverse composizioni sono state preparate mediante compounding allo stato fuso, seguito da stampaggio a compressione. I risultati hanno mostrato che la flessibilità dei materiali finali è molto migliorata con l'aggiunta di TPU al PVDF. Le immagini SEM hanno evidenziato il raggiungimento di una miscela co-continua con 50/50 vol% di PVDF/TPU. Le miscele composte da PVDF/TPU 38/62 vol% e 50/50 vol% sono state selezionate come matrici per la preparazione di compositi stampati a compressione e stampati in 3D al fine di ottenere un compromesso ottimale tra conducibilità elettrica, proprietà meccaniche e stampabilità.

Varie quantità di CB-PPy, dallo 0 al 15%, sono state aggiunte alle miscele selezionate per aumentare la conducibilità elettrica dei compositi e per agire eventualmente come riempitivo nucleante per la fase cristallina  $\beta$  del PVDF per aumentarne la risposta piezoelettrica. L'aggiunta di CB-PPy ha aumentato la conducibilità elettrica di tutti i compositi, tuttavia era più elevata per i compositi co-continui. Per quanto riguarda le proprietà meccaniche, l'incorporazione del riempitivo ha portato a materiali più rigidi con modulo elastico più elevato, minore allungamento a rottura e modulo di accumulo più elevato.

Sono state selezionate tre diverse composizioni per l'estrusione di filamenti da utilizzare in un processo di stampa 3D. Nel complesso, le parti stampate in 3D presentavano proprietà meccaniche ed elettriche inferiori a causa della presenza di vuoti, difetti e strati sovrapposti.

Inoltre, sono state studiate le risposte piezoresistive dei compositi. Per i compositi 38/62% in volume, i campioni stampati a compressione e stampati in 3D con il 5% e il 6% di CB-PPy hanno mostrato una buona risposta piezoresistiva. Tuttavia, solo i compositi con il 6% hanno mostrato valori elevati di sensibilità e fattore di misura, ampio intervallo di pressione e risposte piezoresistive riproducibili per entrambi i metodi. D'altra parte, per i compositi co-continui solo il campione stampato a compressione con il 5% di CB-PPy ha presentato risposte piezoresistive buone e riproducibili.

Sono stati studiati inoltre parametri quali la cristallinità e il contenuto di fase  $\beta$  del PVDF. Sebbene il grado di cristallinità dei campioni sia diminuito con l'aggiunta di CB-PPy, la percentuale di fase  $\beta$  è aumentata. Il coefficiente piezoelettrico  $d_{33}$  dei campioni è aumentato con la percentuale di fase  $\beta$ . Il contenuto di fase  $\beta$  e le risposte piezoelettriche del PVDF erano inferiori per i campioni preparati da FFF.

Infine, come ricerca collaterale, è stata misurata l'efficacia della schermatura delle interferenze elettromagnetiche (EMI-SE) per tutti i compositi. I compositi con maggiore conducibilità elettrica hanno mostrato una migliore schermatura della radiazione elettromagnetica. Inoltre, i compositi co-continui hanno mostrato una maggiore efficienza di schermatura EMI rispetto ai compositi 38/62% in volume. I campioni preparati da FFF hanno mostrato risposte EMI-SE ridotte rispetto ai campioni stampati a compressione.

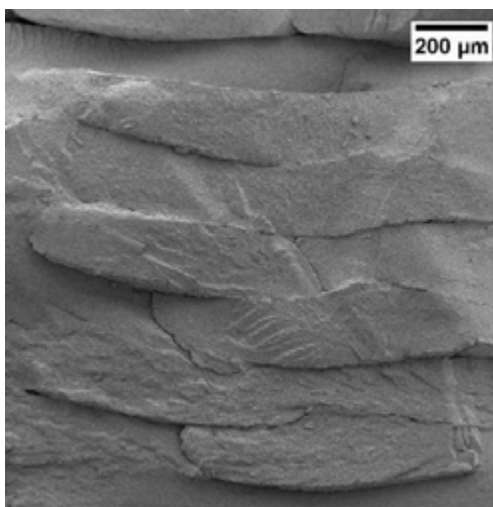
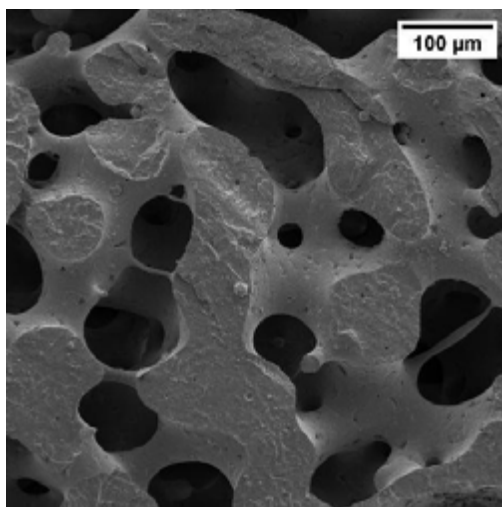


Figure (a): SEM image of the etched PVDF/TPU 50/50 vol% co-continuous blend at x500 magnification and Figure (b): SEM image at x200 magnification of 3D printed PVDF/TPU/CB-PPy 50/50 vol% with 10% of CB-PPy.

# Un nuovo libro sulla duttilità e la formabilità dei metalli

Giovanni Straffelini



Giovanni Straffelini  
DII, area di ricerca:  
Metallurgia

La duttilità è la proprietà più importante dei metalli. Grazie a essa, i metalli possono essere deformati plasticamente e dunque lavorati per ottenere oggetti di qualunque geometria. Non solo. La duttilità conferisce ai metalli una notevole resistenza alla frattura, utilissima in diverse applicazioni ingegneristiche.

Il mio nuovo libro presenta una panoramica completa sulla deformabilità plastica e il comportamento a frattura duttile delle più importanti leghe metalliche a uso ingegneristico, inclusi gli acciai, le leghe di alluminio, il rame, il titanio e il magnesio. Viene usato un *approccio metallurgico*, considerando sia la microstruttura dei metalli (e come essa si modifichi e a sua volta determini il comportamento dei metalli durante la deformazione), sia lo stato meccanico di sforzo e deformazione.

I primi nove capitoli introducono i concetti principali. Inizialmente è discussa l'influenza della microstruttura sulla resistenza allo snervamento e l'incrudimento dei metalli, evidenziando il ruolo della temperatura e della velocità di deformazione, nonché dando particolare risalto al coefficiente di incrudimento,  $n$ , e all'indice di sensibilità alla velocità di deformazione,  $m$ , che svolgono un ruolo fondamentale nei meccanismi di frattura duttile.

In genere, all'aumentare della resistenza allo snervamento delle leghe metalliche, la duttilità diminuisce. Questa tipica correlazione è presentata nel libro discutendo anche alcune deviazioni dal trend generale. Questo è utile per indirizzare lo sviluppo di nuove leghe metalliche che abbiano, insieme, elevata duttilità e resistenza.

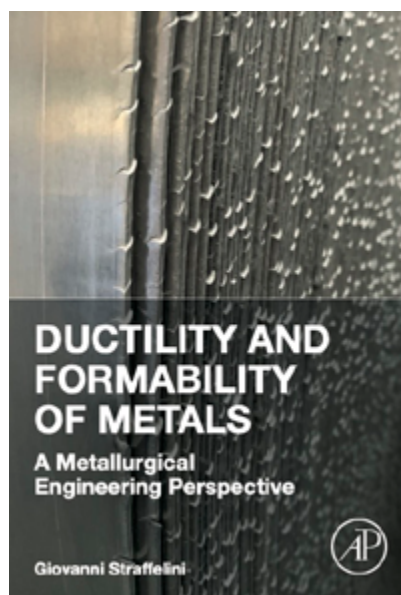
Nei capitoli iniziali sono anche considerati particolari fenomeni, come lo *strain aging dinamico*, l'attitudine alla localizzazione della deformazione in bande di taglio, la deformazione plastica a caldo (considerando l'interazione con i fenomeni di ricristallizzazione di-

namica) e i meccanismi di danneggiamento plastico e frattura duttile. Viene quindi introdotto il criterio di frattura duttile di *Rice and Tracey (R-T)*, che si basa sui meccanismi di danneggiamento. Tale criterio assai utile per comprendere e prevedere le condizioni di frattura, cioè il limite di duttilità dei metalli, in tutte le situazioni in cui sono sottoposti a intensa deformazione plastica, come durante le operazioni di formatura per deformazione plastica. Infatti, il danneggiamento plastico e la frattura duttile determinano la classe più importante dei difetti che si possono riscontrare in questi processi, ed è pertanto fondamentale disporre degli strumenti progettuali adatti a evitare di incorrere in tali difetti.

Gli ultimi sette capitoli del testo espongono le tipiche lavorazioni dei metalli: forgiatura, laminazione, estrusione, trafilatura, formatura della lamiera, lavorazione per asportazione di truciolo. L'esposizione segue sempre il medesimo schema, finalizzato a presentare le *finestre di formabilità*, cioè le condizioni per condurre i processi in sicurezza e senza difetti.

Questi concetti, anche grazie alla positiva interazione con le nozioni fondamentali introdotte nei primi capitoli, forniscono al lettore un bagaglio di strumenti indispensabili per affrontare i nuovi scenari tecnologici, come la lavorazione tradizionale di metalli innovativi o la formatura di leghe tradizionali mediante nuove metodologie.

Il libro è rivolto agli studenti di ingegneria dei materiali, meccanica, mecatronica, gestionale, nonché in fisica e scienza dei materiali. Inoltre è rivolto ai ricercatori e ai professionisti che operano nei campi dell'ingegneria industriale e della fisica e che devono affrontare queste tematiche.



## Contents

1. Onset of yielding in metals
2. Strain hardening of metals
3. Plastic deformation: Influence of strain rate and temperature (for  $T < 0.4-0.5 T_m$ )
4. Plastic deformation at high temperature ( $T > 0.4-0.5 T_m$ )
5. Plastic deformation in a triaxial state of stress
6. Mechanisms of plastic damage and ductile fracture
7. Influence of microstructure on ductility
8. Ductility of metals at high temperature
9. Impact testing and ductile-to-brittle fracture transition
10. Safe plastic forming of metals: General aspects
11. Forging
12. Rolling
13. Extrusion
14. Wire drawing
15. Sheet metal forming operations
16. Machining operations by chip removal

Edito da ELSEVIER:

<https://www.elsevier.com/books/ductility-and-formability-of-metals/straffelini/978-0-323-99203-9>

# Il DII News cambia veste: ci rivediamo online!

Giovanni Straffellini



Giovanni Straffellini  
Direttore DII News

Non è la prima volta che la rivista di informazione del Dipartimento si trasforma. Fino al 2011 si chiamava “DIMTI News” ed era espressione dell’allora Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali. Dopo la riforma Gelmini e la nascita del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII), che raccoglie le diverse anime dell’Ateneo che si occupano di Ingegneria dei Materiali, Ingegneria Meccatronica e Ricerca Operativa, la rivista è diventata “DII News”, ampliandosi notevolmente nella foliazione, nel numero delle rubriche e nella tipologia dei contributi.

In questi anni, il DII News è stato stampato e diffuso in quasi seimila copie per numero, raggiungendo le industrie del territorio (principalmente nel Triveneto, ma non solo), gli ordini professionali, le associazioni di categoria, le altre sedi universitarie in ingegneria e anche le scuole superiori, mantenendo fede alla propria mission: essere un efficace strumento di raccordo tra l’Università (e in particolare la sua anima dell’Ingegneria Industriale) e il territorio per favorire continui interscambi e occasioni di contatto.

Le ricadute positive per il DII sono state numerose e hanno interessato lo sviluppo di temi di ricerca in diversi settori industriali, la valorizzazione dei nostri laureati, sempre molto richiesti dal mondo del lavoro, e la divulgazione delle iniziative organizzate dal DII, come corsi, seminari, summer schools e nuove pubblicazioni scientifiche.

Adesso il DII News si accinge a cambiare pelle. Da cartaceo diventerà digitale per raccontare il mondo dell’ingegneria industriale con più contenuti e a un pubblico sempre più vasto, con l’auspicio che i nostri lettori possano trovare suggerimenti e ispirazioni rispetto ai temi che trattiamo.

Qualità, fruibilità, approfondimento e autorevolezza vogliono essere i cardini di questo rilancio che vedrà la luce nell’autunno 2023. Stiamo infatti mettendo a punto tutti i dettagli, con una redazione che punta a rinnovarsi e a far dialogare i saperi. Vi aspettiamo online! Seguiteci nel frattempo sui nostri canali social e sul sito istituzionale dii.unitn.it per tutti gli aggiornamenti.



## In questo numero:

<b>EDITORIALE</b>	<b>1</b>
<b>Il DII è Dipartimento di Eccellenza 2023-2027</b>	
Alessandro Pegoretti	
<b>RICERCA</b>	<b>2-3</b>
<b>Oltre i confini della robotica convenzionale: il progetto premiato</b>	
Giacomo Moretti e Matteo Benedetti	
<b>DIDATTICA</b>	<b>4</b>
<b>Anno nuovo, corso nuovo: come cambia la Laurea triennale in Ingegneria Industriale</b>	
Daniele Fontanelli	
<b>RICERCA</b>	<b>5</b>
<b>INSPIRE: al via lo studio di nuovi metodi matematici per svelare i segreti dei sistemi naturali</b>	
Giulia Giordano	
<b>RICERCA</b>	<b>6</b>
<b>Le sfide della nuova industria</b>	
Nikola Suzic	
<b>SCUOLA DI DOTTORATO</b>	<b>7</b>
<b>Approcci di ingegneria tissutale basati sulla fibroina della seta per il trattamento della degenerazione del disco intervertebrale</b>	
Francesca Agostinacchio	
<b>SCUOLA DI DOTTORATO</b>	<b>8</b>
<b>Smart coatings for energy saving buildings</b>	
Andrea Rosati	
<b>SCUOLA DI DOTTORATO</b>	<b>9</b>
<b>Production of bioceramic components by 3D printing starting from powders synthesized from natural products</b>	
Francesca Cestari	
<b>SCUOLA DI DOTTORATO</b>	<b>10</b>
<b>Plasma-Assisted Deposition of Natural Polymers for Flexible Biosensor Applications</b>	
Artem Arkhangelskiy	
<b>SCUOLA DI DOTTORATO</b>	<b>11</b>
<b>Flexible and 3D printable conductive composites for pressure sensor applications</b>	
Mayara Cristina Bertolini	
<b>I LIBRI DEL DII</b>	<b>12</b>
<b>Un nuovo libro sulla duttilità e la formabilità dei metalli</b>	
Giovanni Straffelini	
<b>RIVISTA</b>	<b>13</b>
<b>Il DII News cambia veste: ci rivediamo online!</b>	
Giovanni Straffelini	

