



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% GIAPAVITN Trento n. 9/2015 - contiene Inserto Redazionale



## I nuovi ricercatori del Dipartimento



### Editoriale

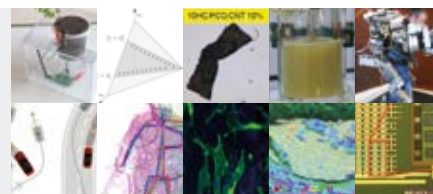
Dario Petri

pag. 2



### I ricercatori a tempo determinato

pag. 3



### Schede di ricerca

pag. 6

Questo numero del DII News è interamente dedicato ai dieci nuovi ricercatori reclutati dal Dipartimento in questi ultimi tre anni. La ricerca e la didattica di qualità richiedono un investimento costante in giovani talenti motivati; per questo il DII ha dedicato le risorse disponibili - derivate dal progetto meccatronica dell'Ateneo e dalla cessazione dal servizio di colleghi - quasi interamente ai nuovi ricercatori. La limitazione delle risorse non ha permesso di coprire tutte le principali competenze richieste dalla rapida evoluzione delle tecnologie industriali; inoltre non è stato possibile riconoscere la giusta e meritata progressione di carriera a diversi colleghi che da anni contribuiscono con impegno e perseveranza alla crescita del Dipartimento.

Nel seguito di questo numero del DII News sono riportati sia gli elementi essenziali del curriculum dei nuovi ricercatori, sia una breve descrizione delle loro attività di ricerca, che spazia dall'elettronica, ai sistemi meccanici, alla robotica, all'ingegneria dei materiali, alle misure, alla ricerca operativa. Circa la metà dei nuovi ricercatori proviene da altre sedi universitarie; molti di loro hanno avuto significative esperienze all'estero ed alcuni sono rientrati in Italia dopo anni di attività di ricerca in altri Paesi. La dimensione della ricerca è infatti internazionale ed è più che mai necessario per un giovane fare esperienze, confrontarsi con le migliori realtà al mondo e costruire una efficace rete di relazioni internazionali. Tutti questi elementi sono fondamentali per la crescita del singolo ricercatore e per lo sviluppo delle attività del Dipartimento.

Meritano un cenno anche i recenti riconoscimenti ottenuti a livello nazionale sulla qualità degli investimenti in personale operati dal DII: ben nove dei nuovi ricercatori hanno già ottenuto l'abilitazione ad esercitare il ruolo di professore associato.

Nei prossimi anni intendiamo potenziare ulteriormente le strutture di ricerca del Dipartimento e la sua visibilità nazionale e internazionale, anche al fine di aumentare la capacità di attrazione di talenti. In un contesto socio-economico in cui la competizione - nelle sue diverse forme - si manifesta sempre più a livello macro-regionale, non possiamo però pensare di raggiungere questo obiettivo da soli, un supporto convinto ed efficace da parte dell'Ateneo e dell'intero ecosistema territoriale della ricerca e della produzione sono infatti fattori essenziali. Da parte nostra, garantiamo il massimo dell'impegno nel favorire la crescita di una nuova generazione di ingegneri e ricercatori che possa contribuire ad uno sviluppo ottimale della società e del territorio.



Dario Petri  
Direttore del DII



Da sinistra a destra: Michele Fedel, Andrea Dorigato, Alberto Fornaser, Lucio Pancheri, Devid Maniglio, Cinzia Menapace, Davide Brunelli, Daniele Fontanelli, Matteo Brunelli, Marco Fontana

## I NOSTRI RICERCATORI A TEMPO DETERMINATO



### Davide Brunelli

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2015*

**Tesi di Laurea:** Multi-client Cooperation and Wireless PDA Interaction in Immersive Virtual Environment, 2002

**Tesi di Dottorato:** Electronic systems for ambient intelligence, 2007

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Embedded Electronics and Computing Systems");

- Sistemi Elettronici Embedded e Realtime
- Internet of Things
- Industria 4.0
- Smart Metering
- Energy Harvesting
- Sistemi elettronici indossabili



### Matteo Brunelli

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2017*

**Tesi di Laurea:** Consistency and incompleteness in pairwise comparisons: numerical and theoretical results, 2007

**Tesi di Dottorato:** Some advances in mathematical models for preference relations, 2011

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Ricerca operativa");

- Ottimizzazione vincolata applicata
- Teoria delle decisioni
- Rappresentazioni matematiche dell'incertezza
- Funzioni di aggregazione



### Andrea Dorigato

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Produzione e Caratterizzazione di Nanocompositi a Matrice Poliuretanic, 2005

**Tesi di Dottorato:** Viscoelastic and Fracture Behaviour of Polyolefin Based Nanocomposites, 2009

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Polimeri e Compositi");

- Comportamento viscoelastico ed a frattura di compositi micro- e nanostrutturati a matrice polimerica
- Sviluppo di nanocompositi elettricamente attivi
- Sviluppo di materiali nanostrutturati per l'isolamento termico ed il risparmio energetico
- Sviluppo di materiali polimerici e compositi derivanti da risorse rinnovabili
- Sviluppo di materiali a transizione di fase per lo stoccaggio/rilascio di energia termica
- Analisi del ciclo di vita (LCA) di materiali e processi di produzione



## Michele Fedel

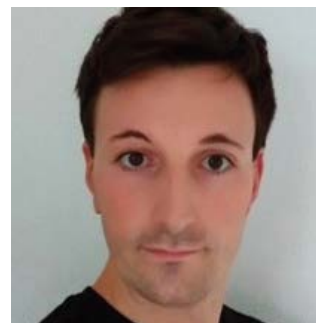
*Ricercatore a Tempo determinato tipo A dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Studio di nuove finiture a base silano per la verniciatura del rame, 2006

**Tesi di Dottorato:** Environmentally friendly hybrid coatings for corrosion protection: silane based pre-treatments and nanostructured water-borne coatings, 2010

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Rivestimenti ed anticorrosione industriale"):

- Sintesi e caratterizzazione di nano-particelle di ossidi di cerio
- Meccanismi di corrosione e strategie di protezione di leghe di alluminio
- Film sottili a base di polisilossani e polisilazani
- Trattamenti di conversione superficiale a base di composti di terre rare
- Rivestimenti ad elevata riflettanza solare ed emissività IR (c.d. cool-roof)
- Tecniche elettrochimiche applicate allo studio di rivestimenti organici



## Marco Fontana

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Design of a mechanical tracker based on an innovative sensing principle, 2003

**Tesi di Dottorato:** High performance haptic devices for multi-finger direct contact interaction, 2008

**Principali attività di ricerca:**

- Robotica / Haptics: progetto e realizzazione di sensori, cinematiche, sistemi di trasmissione e di controllo per applicazioni di robotica e interfacce aptiche
- Smart materials: attuatori, sensori e generatori basati su elastomeri/fluidi dielettrici e polimeri termoattivi
- Energy harvesting: modellazione/ottimizzazione e progetto di sistemi di conversione di energia di onde marine e vento di alta quota



## Daniele Fontanelli

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2015*

**Tesi di Laurea:** Architettura ed algoritmi per il controllo di robot con retroazione visive, 2001

**Tesi di Dottorato:** Mobile Robot Control in Unknown Indoor Environments - The Visual SLAM for Servoing, 2006

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Sistemi Embedded, Cyber Physical Systems"):

- Misure (stimatori per Smart Grid, algoritmi di sincronizzazione, localizzazione e stimatori distribuiti)
- Robotica (localizzazione, controllo e navigazione, pianificazione di traiettorie, collaborazione uomo/robot)
- Controllo digitale (controllo real-time su piattaforme embedded)



## Alberto Fornaser

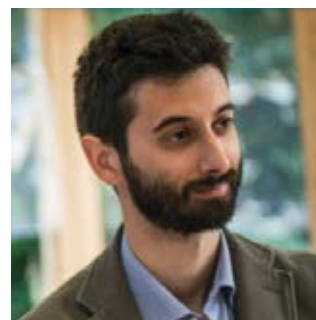
*Ricercatore a tempo determinato tipo A dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Taratura di sistemi robotici equipaggiati con laser range finder e telecamere, 2010

**Tesi di Dottorato:** Data fusion of images and 3D range data, 2014

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Measurement, Instrumentation and Robotics"):

- Misure meccaniche e termiche
- Misure di moto e forma 3D
- Sviluppo di sistemi di misura multi sensore
- Realtà aumentata/virtuale



## Devid Maniglio

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Correlazione fra energia libera superficiale e caratteristiche di adesione batterica su biomateriali polimerici, 1999

**Tesi di Dottorato:** Effettiva applicabilità dell'angolo di contatto e della microscopia a forza atomica a problematiche di tipo industriale, 2003

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Biotech"):

- Studio di biomateriali di origine naturale e nuovi metodi per la loro formatura per realizzare impalcature di supporto (tecnicamente scaffold) idonee ad ospitare cellule e favorirne l'organizzazione e l'evoluzione in un tessuto funzionale che possa simulare il funzionamento del corrispettivo tessuto umano/animale
- Studio di biomateriali sintetici (PEDOT:PSS) o di origine naturale (proteine della seta chimicamente modificate) con proprietà elettriche od ottiche idonee alla realizzazione di biosensori
- Studio di nuovi metodi semiautomatici per realizzare costrutti cellularizzati funzionali, attraverso tecniche di organ printing basate su tecniche di incapsulamento e disposizione spaziale di sferoidi, oppure attraverso metodi di formatura layer by layer



## Cinzia Menapace

*Ricercatore a tempo determinato tipo A dal 2016*

**Tesi di Laurea:** Caratterizzazione meccanica e stabilità igrotermica di un composito per uso dentale, 1999

**Tesi di Dottorato:** Sinterizzazione di bronzo 90/10, influenza dell'interazione fra rame e stagno sul comportamento dimensionale e sulle proprietà meccaniche, 2003

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Progettazione meccanica e metallurgia"):

- Metallurgia delle polveri
- Caratterizzazione materiali metallici
- Tribologia
- Deformabilità a caldo dei metalli



## Lucio Pancheri

*Ricercatore a tempo determinato tipo B dal 2015*

**Tesi di Laurea:** Silicio poroso: dal materiale al sensore, 2002

**Tesi di Dottorato:** Novel CMOS integrated detectors for 3D imaging applications, 2006

**Principali attività di ricerca** (Laboratorio: "Elettronica e microsistemi"):

- Sensori di radiazione ottica e X
- Sensori di immagine
- Sensori di particelle



## SISTEMI ELETTRONICI INTELLIGENTI E SENZA BATTERIE PER INDUSTRIA 4.0 ED INTERNET OF THINGS (IOT)

Davide Brunelli

Recentemente è stato messo a punto un "ecosistema" per permettere la diffusione di applicazioni nel dominio IoT, con un accesso LoRaWAN installato in via sperimentale sull'edificio 2 del Polo Ferrari a Povo, che copre tutta la città e che connette già aziende e start up (Figura 1). Il Sistema punta a connettere migliaia di dispositivi elettronici e sensori fisici e, con un unico punto di accesso, è in grado di coprire l'intera area urbana per servizi IoT ed Industria 4.0 con l'obiettivo di fornire un supporto allo sviluppo del progetto Trento Smart City.

Ogni servizio o dispositivo elettronico collegato (pubblico o privato) potrà connettersi e mettere a disposizione dati che gli utenti potranno utilizzare in modo personalizzato. È l'utente stesso a decidere infatti cosa fare con i propri dati: ad esempio controllare lo stato delle proprie macchine (che comunicano direttamente le manutenzioni o i rifornimenti da fare), dialogare facilmente con i servizi pubblici o privati di mobilità e logistica, prenotare prestazioni o richiedere servizi di qualsiasi tipo, monitorare o programmare le proprie attività rispetto alle proposte che arrivano dal territorio. Tutto gratuitamente e nella massima sicurezza, senza bisogno di attivare connessioni a pagamento con alcun gestore.

Una comunicazione wireless capillare a larghissimo raggio è un requisito fondamentale per le applicazioni dell'IoT, ed a Trento ora è disponibile questa nuova infrastruttura di rete, già presente in alcune grandi città europee. Alcune aziende hanno già deciso di utilizzarla e puntiamo in breve tempo a estenderne l'accesso ed a coinvolgere anche la cittadinanza.

Il lavoro di ricerca si è quindi focalizzato su metodologie che permettano la realizzazione di sistemi e sensori elettronici compatti, portatili e connessi, in grado di funzionare anche senza batterie: l'energia necessaria è estratta dall'ambiente in cui è inserito il dispositivo (Energy Harvesting).

L'attenzione è sullo sviluppo di soluzioni tecnologiche (hardware and software co-design) per l'ottimizzazione del recupero di energia da fonti rinnovabili ed eterogenee disponibili nell'ambiente urbano (celle solari, batteri del suolo, vento o flussi d'aria, campi elettromagnetici, gradienti termici) ed allo stesso tempo ad inserire la necessaria capacità di elaborazione per collegarsi alla Infrastruttura IoT, oppure svolgere direttamente ed in maniera autonoma compiti complessi. Esempi di sensori autonomi progettati riguardano il campo dello Smart Metering avanzato (con riconoscimento automatico dei carichi elettrici), e monitoraggio sotterraneo (Sistemi Geotermici Shallow (SGS)).

Sempre in questo ambito di attività è in fase di studio un sistema wireless autonomo, che dopo l'installazione potrà operare per sempre senza necessità di alcuna manutenzione. L'alimentazione viene fornita da particolari colonie di batteri presenti nel terreno, usando tecnologie basate su "Microbial Fuel Cell" (Prototipo in Figura 2). Una significativa capacità di elaborazione a bordo consentirà di gestire diversi sensori permettendo l'analisi dei segnali e dei dati direttamente sul sistema stesso.



Davide Brunelli  
Laboratorio "Embedded Electronics and Computing Systems"



Figura 2: Sensore intelligente completamente autonomo e wireless alimentato da batteri del terreno.



Figura 1: La prima antenna LoRaWAN che copre Trento per servizi IoT.

# LA TEORIA DELLE DECISIONI NELL'INDUSTRIA MODERNA

Matteo Brunelli

La teoria delle decisioni è una branca della ricerca operativa e della matematica applicata che si occupa della formalizzazione matematica dei processi decisionali, con un occhio di riguardo a problemi complessi che coinvolgono molteplici obiettivi. È certamente vero che nell'industria moderna si è sempre più spesso propensi a prendere decisioni basandosi su modelli analitici e interpretabili piuttosto che basandosi sull'intuizione. Tuttavia, anche nel caso di modelli analitici, è spesso necessario ricorrere a giudizi soggettivi provenienti da esperti, ingegneri e manager.

Parlando dei giudizi numerici e soggettivi di esperti, ci si aspetterebbe che i giudizi espressi da un esperto non siano contraddittori tra loro. Data questa premessa, in letteratura sono state presentate numerose funzioni allo scopo di quantificare, su una scala numerica, la violazione di condizioni basilari di razionalità. Tali funzioni sono chiamate indici di inconsistenza.

La ricerca in questo campo, si è articolata in una parte numerica ed una teorica. Dal punto di vista numerico, abbiamo studiato le relazioni tra i vari indici di inconsistenza presentati in letteratura, evidenziando come alcuni siano molto simili tra loro. In particolare, le simulazioni numeriche hanno dimostrato come alcuni indici, apparentemente diversi, fossero invece del tutto equivalenti. Abbiamo anche presentato e formulato sotto forma di assiomi, una serie di proprietà ragionevoli per gli indici di inconsistenza. Basandoci su questo sistema assiomatico siamo riusciti a dimostrare che numerosi indici di inconsistenza proposti in letteratura non soddisfano alcune proprietà basilari e quindi possono esibire comportamenti anomali.

Sempre nell'ambito della teoria delle decisioni i cosiddetti fuzzy set ("insiemi sfocati" in italiano) hanno assunto un ruolo di primaria importanza nella rappresentazione di quantità incerte. È opinione diffusa che i fuzzy set siano le fondamenta del calcolo approssimato e del cosiddetto soft computing, largamente impiegato in contesti industriali e in intelligenza artificiale. Con il collega József Mezei, della Lappeenranta University of Technology (Finlandia), abbiamo studiato due aspetti fondamentali dei numeri fuzzy. Per prima cosa, secondo la teoria dei fuzzy set, un numero fuzzy può essere visto come una generalizzazione di un numero reale. Tuttavia, al contrario dei numeri reali, dove esiste una relazione d'ordine  $\leq$ , nel caso dei numeri fuzzy non si può definire in modo univoco una relazione d'ordine. Abbiamo quindi analizzato numericamente e teoricamente vari modi per generare un ordinamento sull'insieme dei numeri fuzzy. Successivamente ci siamo occupati delle operazioni aritmetiche tra numeri fuzzy, viste come generalizzazioni delle operazioni su numeri reali. Nella maggior parte dei casi, per i numeri fuzzy vengono utilizzate operazioni approssimate, numericamente più semplici ma formalmente sbagliate. In questo caso ci siamo occupati di quantificare il possibile errore derivante dall'applicazione delle operazioni approssimate.



Matteo Brunelli  
Laboratorio "Ricerca operativa"

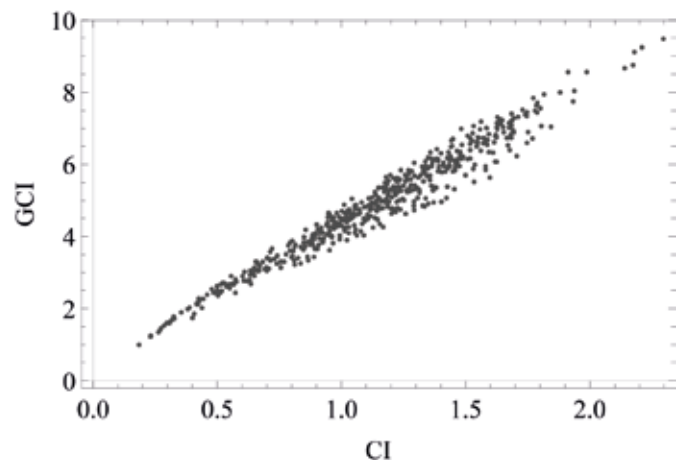


Figura 1: Grafico di dispersione tra due indici di inconsistenza (abbastanza simili) testati su dati casuali.

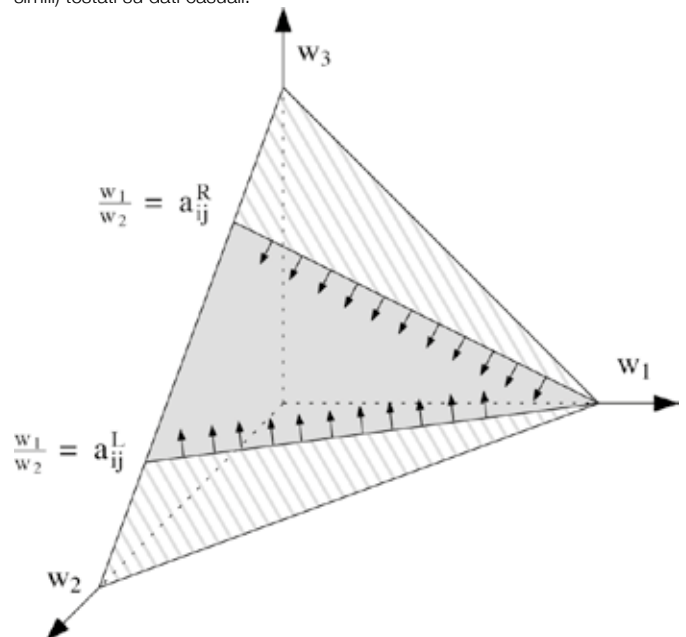


Figura 2: Interpretazione in tre dimensioni di giudizi soggettivi.

## SVILUPPO DI NANOCOMPOSITI MULTIFUNZIONALI MICRO E NANOSTRUTTURATI

Andrea Dorigato

La ricerca riguarda l'analisi del comportamento viscoelastico ed a frattura di compositi polimerici multiscala, lo sviluppo di materiali polimerici innovativi derivanti da risorse rinnovabili e lo studio di schiume nanostrutturate per l'isolamento termico. In particolare, nell'attività sperimentale è stata dedicata particolare attenzione allo sviluppo di compositi polimerici multifunzionali a cambiamento di fase per lo stoccaggio/rilascio di energia termica. I sistemi di stoccaggio energetico con calore latente sono caratterizzati da un'elevata densità di accumulo energetico in un intervallo di temperatura ben definito. Tra questi materiali, particolare interesse è stato dedicato alle cere paraffiniche, per la loro economicità e versatilità di applicazione. L'attività di ricerca ha compreso lo sviluppo e l'analisi di compositi polimerici con funzione strutturale, rinforzati con fibre corte o lunghe, in grado di assorbire/rilasciare calore a temperature pre-determinate. L'analisi ha preso in considerazione sia matrici termoindurenti tradizionali (resine epossidiche), sia matrici termoplastiche (polipropilene, poliammide) ed elastomeriche. In particolare, le paraffine con temperatura di fusione inferiore a temperatura ambiente possono essere sfruttate per l'abbigliamento sportivo invernale, ma la letteratura scientifica in questo campo è piuttosto scarsa. In questo senso, uno degli scopi principali della ricerca è stato quello di preparare e caratterizzare nanocompositi elastomerici a base di polidicicloottene (PCO) reticolato abbinato ad una paraffina con temperatura di fusione di circa 10 °C, contenenti differenti concentrazioni di nanotubi di carbonio (CNTs). I campioni sono stati preparati attraverso un processo di melt compounding in un mescolatore, mantenendo un rapporto in peso PCO/paraffina pari a 60/40. La reticolazione della matrice polimerica è stata completata in pressa al fine di ottenere nanocompositi a diversa concentrazione ponderale di CNT (da 1% a 10%). Le osservazioni hanno evidenziato la presenza di domini di paraffina all'interno della fase polimerica, con un'evidente aggregazione del nanofiller (Figura 1). I test DSC hanno mostrato per tutte le composizioni la presenza di un picco di cristallizzazione della paraffina a -10 °C, mentre quello del PCO è presente ad una temperatura di circa 6 °C. L'introduzione del nanofiller ha permesso di incrementare notevolmente il modulo elastico e la resistenza a snervamento della matrice (Figura 2), diminuendo significativamente la resistività elettrica del materiale (fino a  $5 \times 10^0 \Omega \cdot \text{cm}$ ). L'introduzione di CNT ha inoltre permesso di incrementare notevolmente i valori di conducibilità e di diffusività termica del materiale. L'attività di modellizzazione attraverso il metodo agli elementi finiti (FEM) ha confermato l'efficacia di questi nanocompositi nell'incrementare il tempo richiesto per raffreddare il materiale e/o la temperatura raggiunta dal materiale dopo un certo intervallo di tempo.

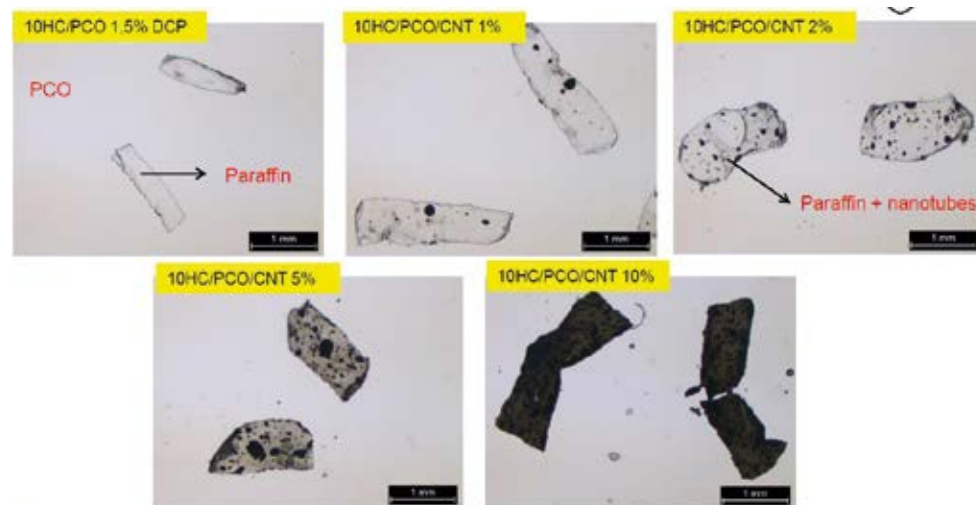


Figura 1: Immagini al microscopio ottico dei blend paraffina/PCO a diversi contenuti di CNT.



Andrea Dorigato  
Laboratorio: "Polimeri e Compositi"

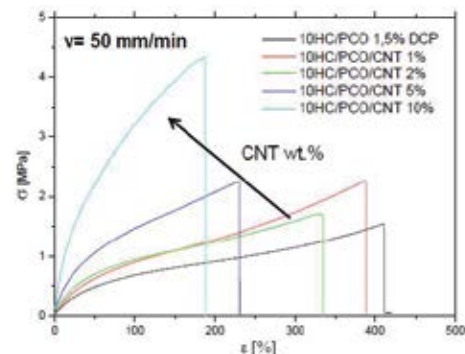


Figura 2: Curve rappresentative sforzo-deformazione dei blend paraffina/PCO a diversi contenuti di CNT.



## SINTESI E CARATTERIZZAZIONE DI OSSIDI DI CERIO

Michele Fedel



Michele Fedel

Laboratorio: "Rivestimenti ed anticorrosione industriale"

L'ossido di cerio esiste in natura in due forme differenti, il  $\text{CeO}_2$  (struttura cristallina fluorite-like) ed il  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (struttura cristallina esagonale) a cui corrispondono i due stati di ossidazione del cerio, rispettivamente  $\text{Ce}^{4+}$  e  $\text{Ce}^{3+}$ . La struttura della cristallina fluorite-like presenta una certa instabilità per cui ioni  $\text{Ce}^{4+}$  hanno la tendenza a ridursi a ioni  $\text{Ce}^{3+}$  e viceversa. La variazione di numero di ossidazione ( $\text{Ce}^{4+} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$  redox shuttle) è accompagnata dal rilascio o accumulo di ossigeno, in base alla relazione  $2\text{CeO}_2 \rightleftharpoons \text{Ce}_2\text{O}_3 + \frac{1}{2}\text{O}_2$ .

Si è osservato come tali reazioni siano concentrate sulla superficie del materiale che si arricchisce di difetti (vacanze di ossigeno). Tale proprietà dell'ossido di cerio è connessa alla sua elevata oxygen storage capacity (OSC) che lo rende un materiale estremamente interessante per la realizzazione di supporti per catalisi di gas esausti, elettrodi per batterie al litio e litio/aria, celle a combustibile nonché, recentemente, per applicazioni nel campo dell'ingegneria biomedica alla luce della sua elevata efficienza come antiossidante (elevata inibizione di reactive oxygen species, ROS). Le predette caratteristiche sono enfatizzate significativamente quando il materiale è prodotto in scala nanometrica. Grazie al know-how acquisito nel corso del progetto europeo SteelCoat-Substitution of materials or components utilizing green nanotechnology (finanziato nell'ambito del FP7), è stato possibile mettere a punto delle procedure di produzione di colloidi di ossidi di cerio nanometrico. La strategia di sintesi prevede che le nano-particelle vengano prodotte in una soluzione acquosa di sali di cerio mantenuta in agitazione e termostata tra i 60 e 90°C. Si procede quindi con l'aggiunta graduale di idrossido d'ammonio, che promuove la formazione di idrossido di Ce (III), quindi di idrossido di cerio (IV) che si trasforma infine in ossido di cerio (Figura 1). Le particelle ottenute hanno dimensione pari a circa 10 nm (Figura 2) e struttura cristallina corrispondente a  $\text{CeO}_2$  fluorite-like. Il diametro idrodinamico medio delle particelle si attesta a circa 30 nm.

L'attività elettrochimica delle nano-particelle è stata testata sia in condizioni neutre che in condizioni acide tramite curve di polarizzazione e misure di spettroscopia di impedenza elettrochimica acquisite su un elettrodo in lega AA5005. Diversi quantitativi di nano-particelle sono stati dispersi in soluzione 0.1M NaCl al fine di appurare la loro attività elettrochimica sul substrato utilizzato. Si è osservato come il colloide sia in grado di promuovere la formazione di una sorta di passività sull'elettrodo di lavoro che perdura proporzionalmente alla concentrazione di nano-particelle. Tale effetto si verifica sia in condizioni di neutralità, ove l'ossido di alluminio è termodinamicamente stabile, sia in condizioni di pH inferiore a 4, dove il metallo risulta attivo e la formazione dell'ossido passivo non sarebbe prevista.

Allo stato, i risultati più significativi di tale lavoro di ricerca sono principalmente due. Da una parte è stato possibile affinare una procedura sperimentale per la sintesi di ossidi di cerio nanometrici e stabili in soluzione acquosa. Dall'altra si è evidenziato come la caratteristica redox delle particelle di ossido di cerio possa essere sfruttata per la stabilizzazione della passività di metalli.

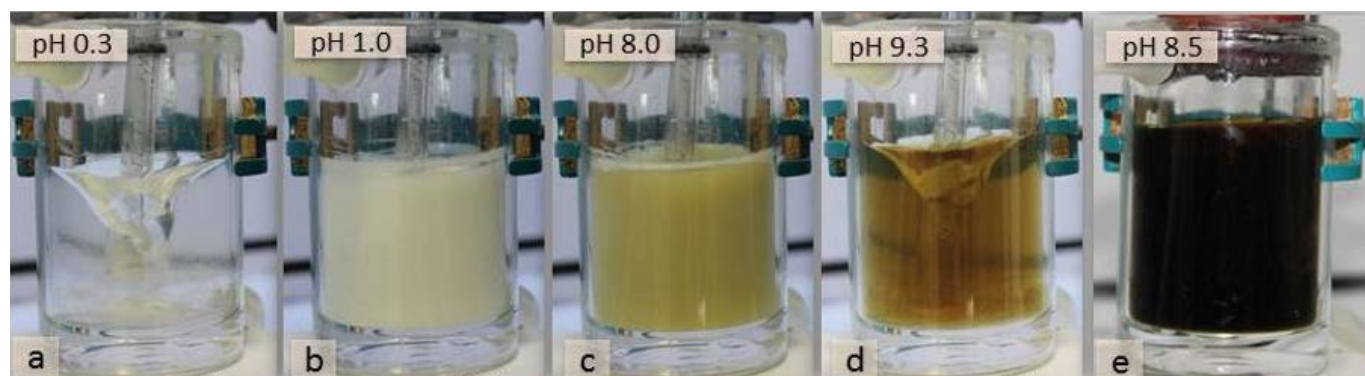


Figura 1: Idrossido di cerio (IV) che si trasforma in ossido di cerio.

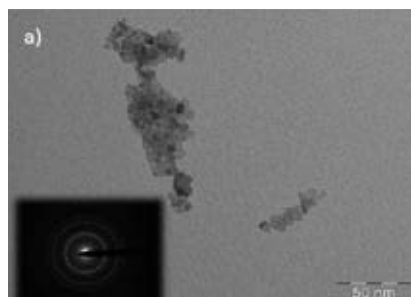


Figura 2: Struttura cristallina corrispondente a  $\text{CeO}_2$  fluorite-like (spettro SAED).

## SISTEMI MECCATRONICI PER APPLICAZIONI DI ROBOTICA E CONVERSIONE DELL'ENERGIA

Marco Fontana



**Marco Fontana**  
Robotica / Haptics, Smart materials,  
Energy harvesting

La ricerca si focalizza sulla modellazione e progettazione funzionale di macchine e sistemi meccatronici per applicazioni di: sistemi robotici interagenti con l'uomo e sistemi di conversione dell'energia.

### Sistemi di interazione uomo-robot

Il primo tema di ricerca riguarda lo studio e il progetto di sistemi di interazione uomo-macchina basati su interfacce robotiche. Il principale obiettivo è quello di sviluppare nuove tecnologie robotiche nell'ambito di interazione aptica, amplificazione di forza e riabilitazione motoria (Figura 1). Le metodologie impiegate prevedono l'analisi/sintesi cinematica, lo studio e progettazione funzionale meccanica di sistemi innovativi di attuazione, trasmissione del moto, sensori e logiche di controllo in grado di fornire prestazioni avanzate. In questo ambito, sono stato responsabile di un workpackage del progetto europeo FP7-VERITAS ([www.veritas.eu](http://www.veritas.eu)) e ho contribuito a numerosi progetti europei e nazionali.

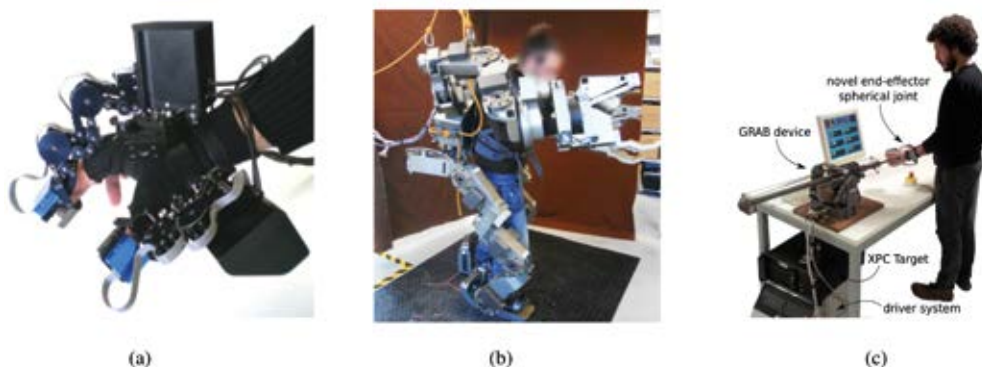


Figura 1: (a) Esoscheletro indossabile per mano per la restituzione di sensazioni tattili in ambienti virtuali; (b) esoscheletro completo full-body per applicazioni di soccorso; interfaccia aptica di tipo desktop in grado di restituire forze programmabili al polso dell'utente (c).

### Macchine per la conversione di energia rinnovabile

Questo secondo tema di ricerca si sviluppa su due principali linee che riguardano tecnologie meccatroniche di conversione di energia del moto ondoso basate su generatori ad elastomero dielettrico e convertitori di energia dei venti di alta quota. L'obiettivo è quello di sviluppare nuove generazioni di sistemi di produzione di energia elettrica a partire da fonti di energia rinnovabile con lo scopo di ottimizzare il rendimento techno-economico e minimizzare l'impatto ambientale (vedi Figura 2). Le metodologie applicate prevedono lo studio di nuovi principi di base, lo sviluppo di modelli di simulazione e la validazione attraverso opportune campagne sperimentali. In questo ambito, sono stato coordinatore del progetto europeo FP7 New mechanisms and concepts for exploiting electroactive Polymers for Wave Energy Conversion ([www.polywec.org](http://www.polywec.org)), sono attualmente responsabile per le attività del DII per il progetto H2020 WETFEET ([www.wetfeet.eu](http://www.wetfeet.eu)) e coordino il progetto Inflated PTO for wave energy converters finanziato dall'associazione Wave Energy Scotland.

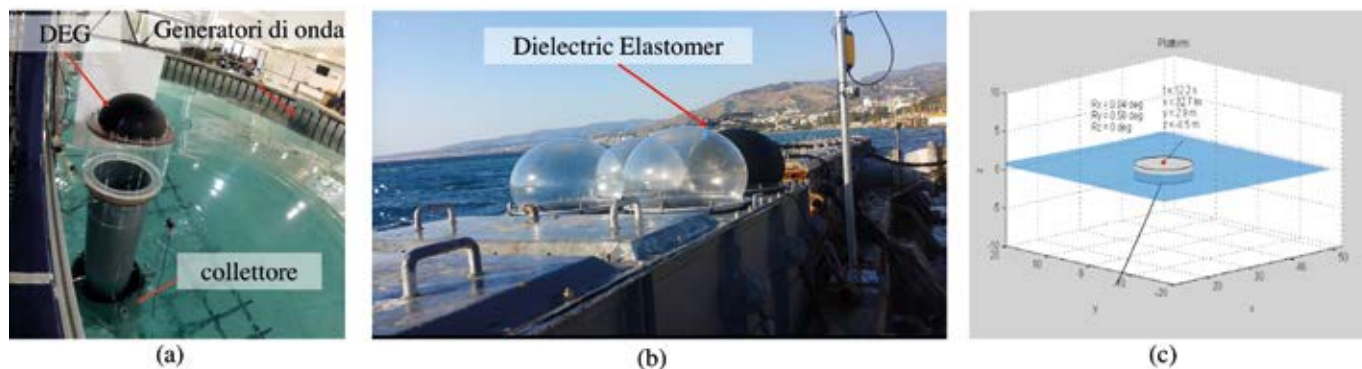


Figura 2: (a) Prototipo di wave-energy-converter basato su membrane di elastomero dielettrico durante la campagna di test in wave-tank circolare presso l'Università di Edimburgo; (b) test in mare di sistemi di conversione di energia del moto ondoso ad elastomero dielettrico presso l'Università di Reggio Calabria; (c) screenshot dell'output di simulazione idrodinamica di un sistema di generazione di energia da vento di alta quota su piattaforma galleggiante off-shore.

## LA ROBOTICA DI SERVIZIO

Daniele Fontanelli

La robotica di servizio tratta lo sviluppo di robot che condividano ambienti non espressamente concepiti per loro con altri esseri umani. Lo sviluppo di sistemi di questo tipo prevede l'uso sinergico di sistemi di misura, algoritmi di stima e di controllo e l'implementazione di controllori digitali. Le attività di ricerca fanno capo al progetto H2020 ACANTO che prevede lo sviluppo di deambulatori robotici su ruote, i FriWalk, utilizzati per la navigazione e la riabilitazione post-traumatica di anziani. Per risolvere il problema della navigazione in ambienti condivisi, sono necessarie tre soluzioni tecnologiche abilitanti. La prima è lo sviluppo di modelli di movimento che siano sufficientemente descrittivi del comportamento di singole persone o di gruppi in presenza di interazioni e a basso carico computazionale. Il modello sviluppato amplia le capacità descrittive del Social Force Model (SFM) aggiungendo alcuni vincoli sulla regolarità del movimento degli esseri umani, chiamato Headed SFM (HSFM). Il vantaggio di questo modello è che il movimento può essere descritto con sequenze di clotoidi, cioè con traiettorie standard a curvatura lineare, che permettono soluzioni semi-analitiche. Le soluzioni basate su clotoidi sono state infatti utilizzate anche per la pianificazione di traiettorie di veicoli da corsa, per i quali il problema risulta più complesso data la complessità del modello dinamico e degli effetti non lineari in gioco.

La seconda tecnologia abilitante riguarda la sintesi di algoritmi di pianificazione di traiettorie reattive, cioè di traiettorie che tengano in considerazione la presenza di altri esseri umani e di ostacoli imprevisti, basati su clotoidi. Queste ultime, infatti, hanno il vantaggio di essere concordi con l'HSFM e di aumentare il comfort percepito dall'utente anziano nell'utilizzo del FriWalk.

La terza tecnologia abilitante concerne le tecniche di stima per la localizzazione del veicolo robotico in ambiente debolmente strutturato. In questo settore, sono state proposte varie soluzioni, come EKF, UKF, filtri H-infinito, che utilizzano sensori diversi o loro combinazioni, come encoder, giroscopi, accelerometri, telecamere, RFID e/o nodi wireless, in modo da garantire una desiderata incertezza obiettivo. Sono stati proposti algoritmi di localizzazione centralizzata e distribuita. È stato altresì studiato l'uso di landmark ed in particolare è stato proposto ed implementato lo sviluppo di algoritmi ottimi che minimizzino l'intervento sull'ambiente.

Data la presenza delle tre tecnologie abilitanti, sono state sviluppate varie soluzioni di guida del deambulatore, concepite tenendo in considerazione il basso costo della soluzione, il comfort di guida percepito e la presenza dell'utente anziano nel ciclo di controllo. Le varie innovazioni proposte sono state poi confrontate con test sul campo con utenti anziani.



Daniele Fontanelli  
Laboratorio: "Sistemi Embedded, Cyber Physical Systems"

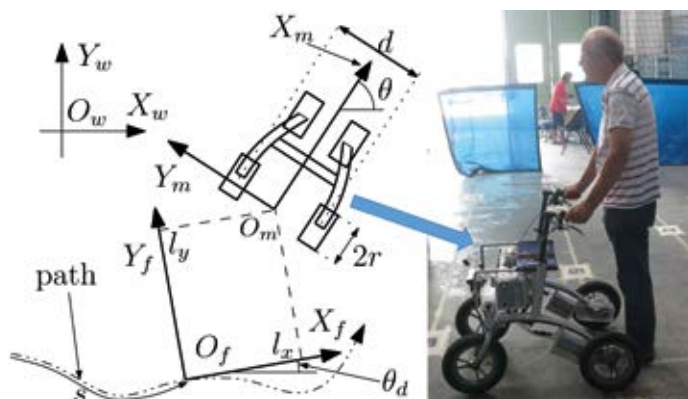


Figura 1: Il FriWalk in azione e la descrizione schematica del problema dell'inseguimento di traiettorie.

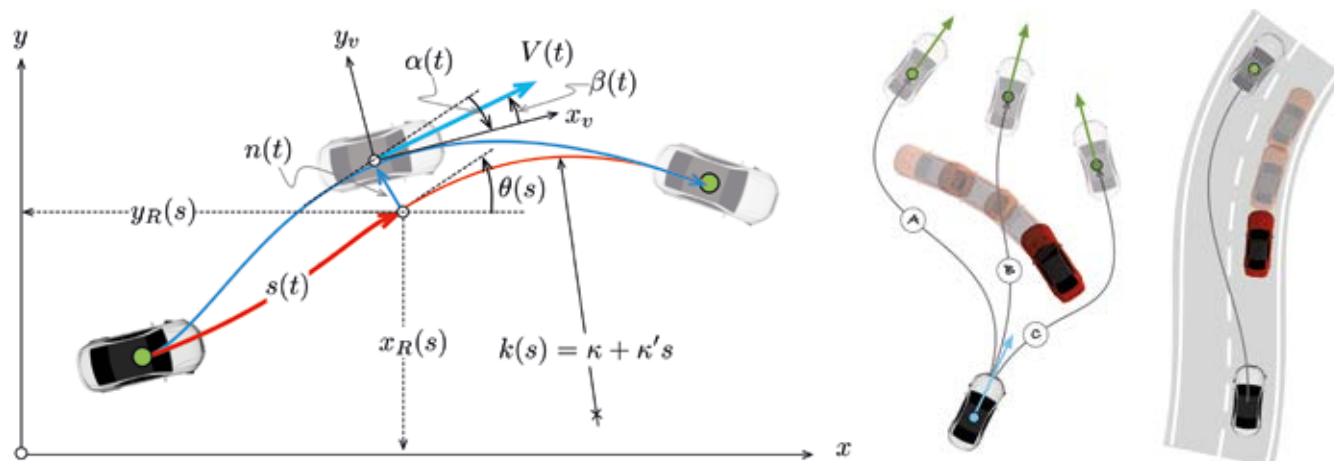


Figura 2: Modello dinamico di veicolo durante una manovra e pianificazione reattiva in presenza di ostacoli o veicoli lenti.

## SENSORI DI DISTANZA E FORMA

Alberto Fornaser

La ricerca è focalizzata sullo sviluppo di sensori di distanza e forma, in particolare laser scanner 2D, al fine di misurare quantità di interesse per lo sviluppo di automazione robotica avanzata sia "stand alone" che interattiva con operatore umano. Si è quindi evoluta negli anni, parallelamente allo sviluppo tecnologico, verso soluzioni d'avanguardia come le "Telecamere a tempo di Volo" o "ToF", i cui dati vengono restituiti al sistema automatico previa elaborazione, all'operatore umano previo allineamento del mondo virtuale con quello reale che tali sensori sono in grado di mettere in comunicazione. Varie tecnologie di Realtà Aumentata sono state messe a punto per tale obiettivo.

Ho avuto quindi l'opportunità di partecipare alla messa a punto di queste tecnologie nell'ambito medico-assistenziale del contesto di AUSILIA (<http://ausilia.tn.it/>). In questo scenario, tra le altre cose, viene fornita al medico la stima dello stato fisico-emotivo di una persona con disabilità che opera in un contesto domestico, restituendo degli indicatori oggettivi volti alla definizione di un percorso terapeutico più consono, anche in quanto personalizzato. Per tale scopo si è sviluppato un sistema di monitoraggio ed analisi 3D ToF distribuito (16 telecamere 3D) in grado di acquisire la forma 3D e lo stato di moto di persone all'interno di un appartamento domestico presso l'ospedale di Villa Rosa (Pergine - TN). Questo dato, fuso con una serie di sensori fisiologici indossabili, è utilizzato per valutare lo stato di stress ed affaticamento durante l'esecuzione di azioni quotidiane quali lavarsi, vestirsi, cucinare, nutrirsi, riposarsi etc., azioni tutt'altro che scontate se non supportate da corrette tecnologie assistenziali. Obiettivo della ricerca è fornire al clinico uno strumento di misura e visualizzazione innovativo, che permetta di superare i limiti dell'occhio umano grazie all'uso di una "virtualità aumentata" in cui presentare sia i parametri fisiologici che cinematici in una rappresentazione unica ed esaustiva, utile a meglio comprendere ciò che il soggetto sotto osservazione sta vivendo pur non essendovi a stretto contatto.

All'interno di una collaborazione internazionale con il Giappone, presso il Nara Institute of Science and Technology, NAIST, Ubi-Lab (<http://ubi-lab.naist.jp/>), il sistema di monitoraggio ed analisi 3D è stato evoluto ed implementato in un appartamento sperimentale, la "SMART-HOME". In questo contesto mi sono spinto verso la classificazione automatica di "azioni atomiche" (bere, mangiare, tagliare, mescolare, etc.) mediante l'analisi del modello scheletrico del soggetto. L'obiettivo è sviluppare una intelligenza artificiale in grado di fornire aiuto ai soggetti affetti da disabilità cognitive, un supporto nell'esecuzione delle varie azioni di vita quotidiana.

Ulteriore ambito di ricerca, affine ai precedenti, è quello dell'analisi di moto di utilizzatori di esoscheletri. La medesima tecnologia 3D distribuita è qui utilizzata come strumento di misura per valutare la correttezza dell'esecuzione della camminata mediante l'uso di un esoscheletro. Tale funzionalità è un elemento chiave per il corretto apprendimento all'uso di questa tecnologia assistenziale e quindi per prevenire l'insorgere di dolori articolari. Rispetto allo standard clinico, la soluzione sviluppata presenta un costo estremamente

ridotto, è trasportabile, non necessita di alcun elemento indossabile. Una volta messo a punto il sistema, si potrà pensare allo sviluppo di palestre di training all'uso degli esoscheletri senza la presenza costante di un clinico, con conseguente beneficio in termini di costi e facilità di fruizione.



Alberto Fornaser

Laboratorio: "Measurement, Instrumentation and Robotics"



Figura 1: SMART HOME & 3D sensing, monitoraggio video 3D distribuito per il riconoscimento automatico di azioni domestiche.



Figura 2: SmartGym, sistema di monitoraggio 3D per l'apprendimento ed allenamento domestici all'uso di esoscheletri.

## PROGETTAZIONE DI SCAFFOLD POLIMERICI

Devid Maniglio

Nell'ambito dell'ingegneria dei tessuti, gli scaffold ricoprono un ruolo fondamentale per il sostegno e la guida delle cellule con lo scopo di permettere la crescita e la rigenerazione di un tessuto tridimensionale.

Nella progettazione di uno scaffold, un fattore da considerare è la scelta del materiale, che rappresenta la prima interfaccia con l'ambiente biologico. Un materiale adatto deve in primo luogo favorire l'adesione e la proliferazione delle cellule, non provocare reazioni biologiche indesiderate e degradare in prodotti non tossici.

In questi termini i polimeri di origine naturale costituiscono un'attraente scelta, principalmente per via delle maggiori somiglianze con la composizione della matrice extracellulare, assieme alle buone performances biologiche. Tra questi il collagene, il chitosano, la fibroina, l'acido ialuronico sono esempi di rilievo.

Insieme alla scelta del materiale, un problema nella progettazione degli scaffold consiste nel conferire loro idonee proprietà fisiche, a partire dalla morfologia a livello micrometrico e sub-micrometrico. È stato dimostrato come la presenza di porosità sia fondamentale per la rigenerazione di un tessuto, poiché in grado di indurre la migrazione e la proliferazione cellulare all'interno del materiale, permettendone un'ottimale colonizzazione.

Presso il nostro laboratorio abbiamo recentemente ideato un procedimento (brevettato con l'aiuto dal nostro Ateneo) che permette la preparazione di una schiuma compatta usabile come supporto per la crescita di cellule a partire da una sospensione di proteine da soluzione acquosa e senza l'uso di additivi che debbano essere rimossi o nocivi.

Il processo si basa sull'utilizzo del protossido d'azoto ( $N_2O$ ), un gas largamente utilizzato in medicina. Rispetto ad altri metodi, l'utilizzo di  $N_2O$  consente di ottenere schiume a temperatura ambiente e usare pressione moderata. In condizioni ambientali l' $N_2O$  possiede una limitata reattività chimica con soluzioni acquose, inoltre, a differenza di gas come  $CO_2$ , non altera il pH della soluzione, inducendo fenomeni non desiderati quali, ad esempio, la gelazione delle proteine.

Il gas viene forzato a disciogliersi nella soluzione proteica mediante la pressurizzazione di un contenitore. In seguito il gas libero forza l'espulsione della soluzione attraverso un ugello, mentre il gas disciolto la rigonfia producendone l'espansione controllata. La schiuma che ne deriva possiede caratteristiche che dipendono dai parametri imposti al sistema quali la pressione iniziale del gas e la concentrazione della soluzione, oltre che dalla capacità del polimero di formare strutture più o meno stabili. È il caso della fibroina della seta le cui schiume risultano diverse al variare del calibro dell'ugello utilizzato durante l'espansione, producendo così forme instabili (e che richiedono ulteriori trattamenti postumi), oppure forme intrinsecamente stabili indotte dalle sollecitazioni di taglio in grado di guidare l'assembly delle proteine in forme helix-like and  $\beta$ -turns.

In tutti i casi, le schiume sono caratterizzate da porosità aperta con dimensione dei pori dell'ordine di alcune centinaia di micron. Per questo motivo stiamo valutando l'idoneità di combinazioni di fibroina, gelatina e idrossiapatite per utilizzi in campo ortopedico

in collaborazione con il gruppo del prof. Martijn van Griensven dell'Experimental Trauma Surgery presso la Technical University di Monaco.



Devid Maniglio  
Laboratorio: "Biotech"



Figura 1: Esempio di schiuma ottenuta mediante espansione di una soluzione di fibroina della seta e asciugata mediante processo di liofilizzazione.

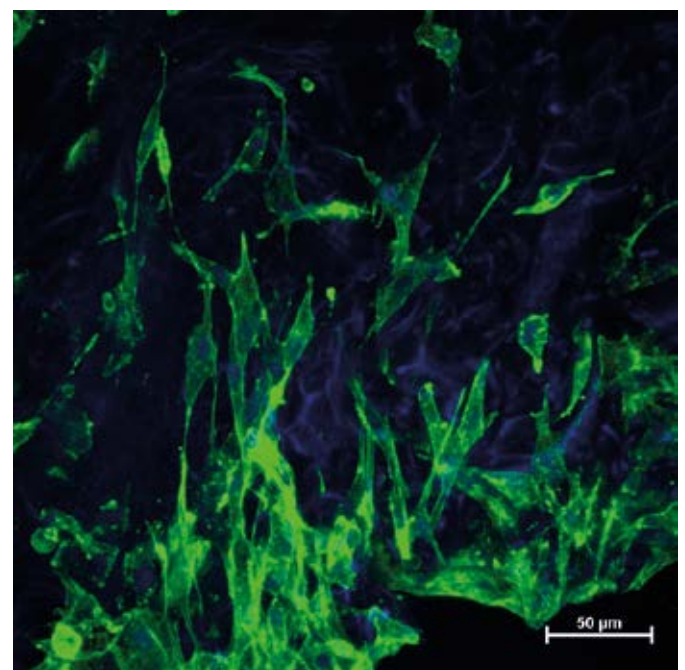


Figura 2: Proliferazione di cellule (fibroblasti) all'interno della schiuma rivelate mediante microscopia confocale.

## STUDIO DI NUOVE PASTIGLIE FRENO A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

Cinzia Menapace

La presente ricerca è svolta in parte all'interno del progetto europeo Lowbrasys (LOW environmental impact BRAKE SYStem), volto allo studio e allo sviluppo di un sistema frenante per automobili a ridotta emissione di particolato. Infatti, il 30% del particolato dovuto al trasporto su strada è generato dal consumo di pneumatici e freni. Compito del progetto è innanzitutto quello di analizzare il comportamento ad usura dall'accoppiamento pastiglia-disco freno, di cui è costituito il sistema frenante dell'autoveicolo. La pastiglia è composta da diversi costituenti, ognuno con un ruolo diverso (abrasivi, lubrificanti, riempitivi, fibre metalliche) tenuti assieme da una resina polimerica, mentre il disco è generalmente costituito da ghisa perlitica. Uno degli scopi della ricerca è quello di correlare la quantità e il tipo di emissioni prodotte alla tipologia di materiali impiegati nella realizzazione della pastiglia e del disco (e ad un eventuale rivestimento superficiale). Oltre alla fase di analisi delle emissioni, la ricerca si è focalizzata anche sulla proposta di modifiche da apportare ai materiali d'attrito al fine di migliorare il loro comportamento, per coniugare migliori prestazioni in termini di frenata con un minor sviluppo di particolato. A questo proposito, uno dei principali filoni di ricerca è volto ad eliminare dalle pastiglie il rame, elemento nocivo sia per la salute dell'uomo che per quella dell'ecosistema, il cui contenuto è già sottoposto ad una rigida regolamentazione in diversi stati americani. A causa del processo di usura, il rame viene emesso come piccole particelle che, se particolarmente fini (PM<10 micron o addirittura PM<2.5 o 1 micron), vengono trasportate dall'aria e possono essere inalate. Le vie per limitarne l'utilizzo sono diverse e prevedono la sua sostituzione con altri composti meno nocivi per la salute umana. La ricerca si sta orientando verso lo sviluppo di materiali d'attrito con ingredienti eco-compatibili come la grafite o la barite (solfato di bario), sostituendo le fibre di rame con fibre di altri metalli meno dannosi per la salute. Uno studio recente ha mostrato l'efficacia della combinazione di barite e fibre di ferro nel sostituire il rame garantendo buone prestazioni tribologiche al materiale (un adeguato coefficiente di attrito combinato ad un basso livello di emissioni di particolato). La barite (Figura 1), che normalmente viene utilizzata nelle pastiglie freno quale riempitivo a basso costo assieme a calcite e miche varie, ha mostrato interessanti proprietà tribologiche e, se combinata con alcuni composti organici normalmente presenti nelle pastiglie, induce la formazione di interfacce di usura tra pastiglia e disco dalle caratteristiche peculiari, in grado di trattenere i frammenti che si formano nel corso di questo processo. Un esempio è mostrato nella mappa EDXS ottenuta al SEM e riportata di seguito. Il comportamento ad usura di queste nuove formulazioni, dopo i test di laboratorio su campioni di dimensioni ridotte, sembra paragonabile a quello di materiali di uso commerciale contenenti rame e quindi molto promettente verso un futuro di sviluppo più eco-sostenibile anche in questo settore.



Cinzia Menapace

Laboratorio: "Progettazione meccanica e metallurgia"

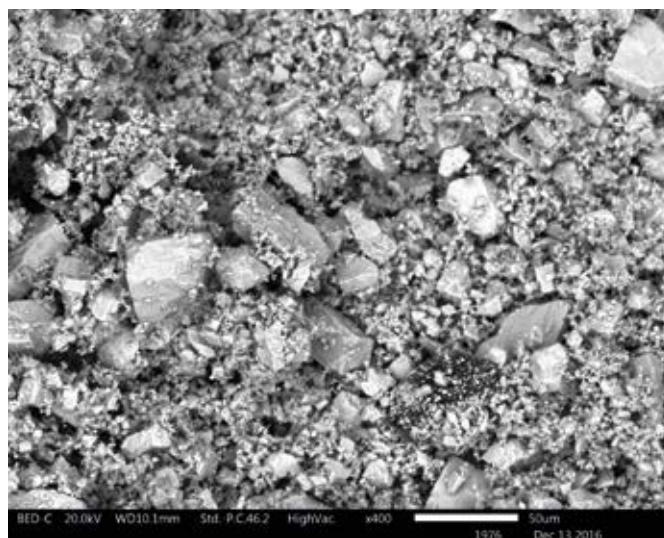


Figura 1: Barite.

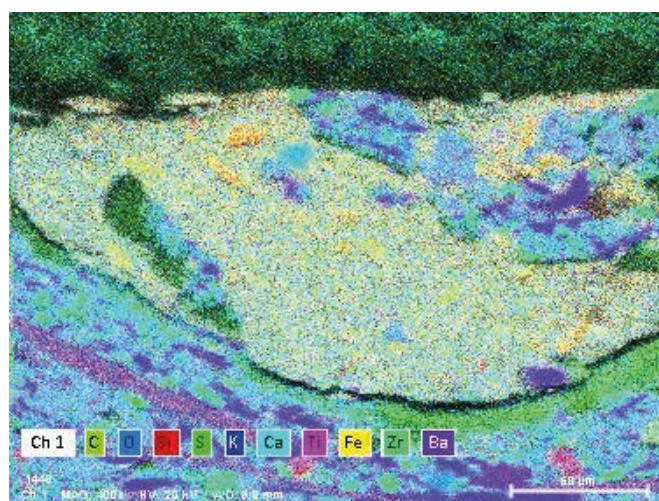


Figura 2: Mappa EDXS ottenuta al SEM.

## SENSORI DI RADIAZIONE INTEGRATI

Lucio Pancheri

La ricerca si focalizza sullo studio di sensori integrati innovativi con la progettazione e caratterizzazione dei dispositivi e dell'elettronica di interfaccia. In particolare l'attenzione è incentrata sullo sviluppo di nuove tipologie di sensori ottici e di radiazione per applicazioni commerciali, industriali e scientifiche. I dispositivi sono sviluppati sfruttando piattaforme CMOS, che rappresentano ormai da decenni lo standard per l'elettronica industriale e di consumo. Il materiale su cui è basata l'elettronica CMOS, il silicio monocristallino, permette anche di realizzare sensori ottici molto efficienti nella banda visibile. Infatti, i sensori ottici e di immagine attualmente in commercio sfruttano l'integrazione di rivelatori ed elettronica micro-fabbricati sullo stesso substrato di silicio, ottenendo un beneficio in termini di prestazioni e di costi rispetto a soluzioni ibride. I sensori realizzati con le tecnologie CMOS commerciali, però, hanno dei limiti relativi alla velocità di risposta e all'efficienza nelle regioni spettrali al di fuori della banda visibile. Il silicio è utilizzato anche per realizzare sensori di radiazione X utilizzati in ambito bio-medicale, industriale e per la sicurezza, e per sensori di particelle a pixel utilizzati nella fisica delle alte energie. Anche in questi ambiti è necessaria un'ibridizzazione o una modifica delle tecnologie microelettroniche standard per ottenere sensori con buone caratteristiche.

Il cuore dell'attività di ricerca negli ultimi anni è stato quindi l'utilizzo o l'adattamento di tecnologie microelettroniche commerciali per realizzare sensori di radiazione e di particelle con prestazioni migliorate o funzionalità aggiuntive rispetto allo stato dell'arte. Tra le diverse tipologie di sensori una delle più rilevanti è quella dei Single-Photon Avalanche Diodes (SPAD). Questi dispositivi sono in grado di produrre un impulso di corrente in risposta alla rivelazione di un fotone grazie all'effetto di amplificazione interna dovuta alla ionizzazione a impatto. Il loro utilizzo permette quindi di quantificare l'intensità della radiazione incidente contando gli impulsi emessi, oppure di misurare il tempo di arrivo dei singoli fotoni con risoluzione dell'ordine dei 100ps. L'integrazione di questi sensori in processi CMOS standard ha aperto la strada ai sistemi ad alto parallelismo e ai primi prototipi di sensori di immagine a singolo fotone, con applicazioni che spaziano dalla misura ottica di distanza tramite la tecnica del tempo di volo (Time of Flight, TOF) alla spettroscopia di fluorescenza, Raman e imaging biomedicale, fino alle tecnologie quantistiche e alla rivelazione diretta di particelle cariche.

Nella partecipazione a diversi progetti interdisciplinari ho avuto modo di sperimentare che le frontiere della ricerca nell'ambito della sensoristica passano essenzialmente per due strade. La prima segue un processo top-down che parte dalle applicazioni e impone innovazione negli algoritmi, nell'elettronica, nei dispositivi e nei processi. La seconda via segue un processo bottom-up, partendo dalla ricerca sui materiali e sui processi per arrivare all'applicazione. Combinando i due approcci si aprono prospettive interessanti per attività di ricerca interdisciplinari che integrino piattaforme elettroniche, in grado di fornire un'adeguata potenza di calcolo, con materiali e dispositivi innovativi. Questa prospettiva è stata e sarà sicuramente fonte di ispirazione per il prossimo futuro nonché occasione per un approccio ancora più ampio e collaborativo verso queste tematiche.



Lucio Pancheri  
Laboratorio: "Elettronica e microsistemi"

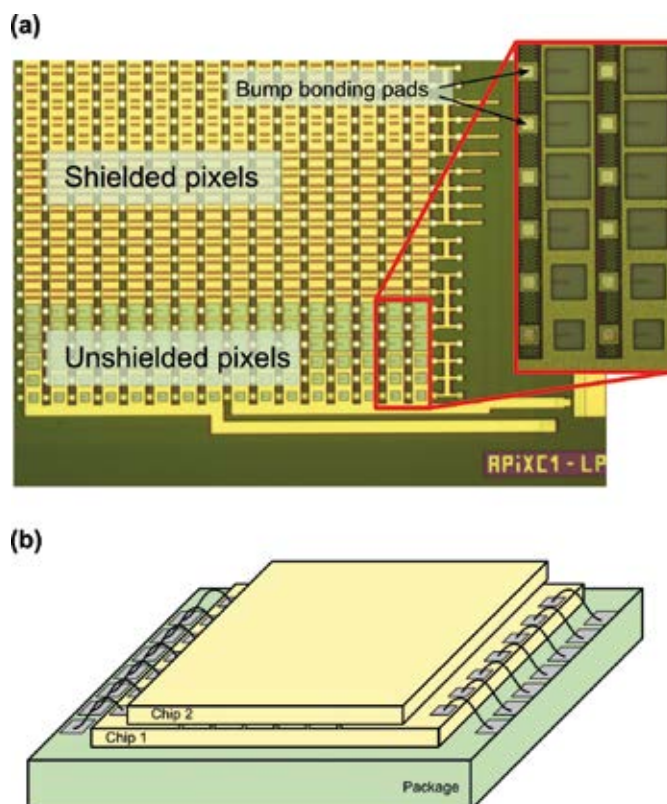


Figura 1: Sensore di particelle a pixel realizzato con rivelatori a valanga integrati verticalmente. (a) Micrografia di un singolo strato. (b) Schema di sensore a doppio strato.

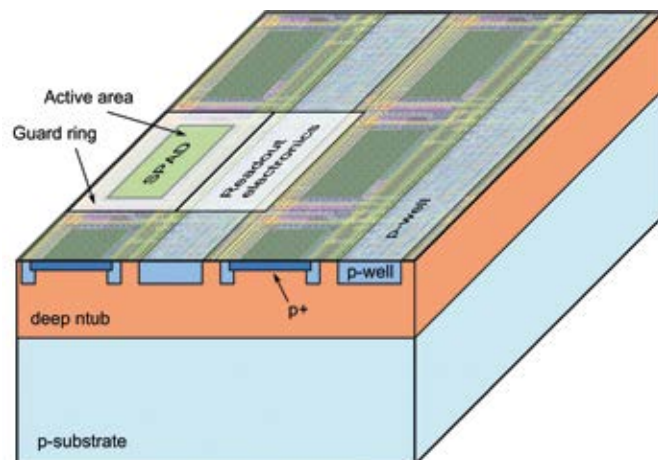
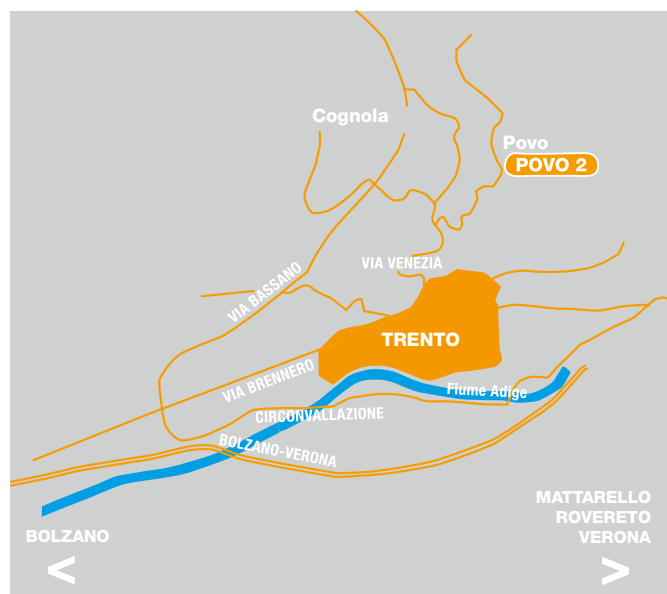


Figura 2: Sensore ottico a pixel basato su rivelatori di singolo fotone.



## DII - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Via Sommarive, 9 - edificio "Polo scientifico tecnologico Fabio Ferrari"

38123 Povo, Trento

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

### DIRETTORE

Dario Petri

### SEGRETERIA

tel. +0461 282500, fax +0461 281977

e-mail: [dii.supportstaff@unitn.it](mailto:dii.supportstaff@unitn.it)

### DII NEWS

Rivista di informazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale

### DIRETTORE RESPONSABILE

Giovanni Straffolini

### REDAZIONE

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

### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Michela Monselesan

### Progetto grafico

Divisione Comunicazione ed Eventi, Università di Trento

### Foto

Luca Benedetti, Fototonina.com, Fotolia.com e altri

### Stampa

Litotipografia Alcione, via G. Galilei, 47 - 38015 Lavis (TN)

### Registrazione

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

## CHIEDI IL TUO DII NEWS

Se vuoi ricevere gratuitamente il periodico in formato cartaceo (o la newsletter per quello in formato elettronico), 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.

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.



## EVENTI 2017

- **CAREER DAY DI ATENE0**  
14 marzo 2018
- **SUMMER SCHOOL ON NEUTRON DETECTORS AND RELATED APPLICATIONS (NDRA 2018)**  
2 - 5 luglio 2018