



SPOKE 09



SPOKE 10

# CATALOGO PRODOTTI E SERVIZI

Innovativi - Nanostrutturati - Bio-based



## AMBITI

AGRICOLTURA

ALIMENTARE

AMBIENTE

CHIMICA

COSMETICA

EDILIZIA

ELETTRONICA

ENERGIA

INFORMATION AND

COMMUNICATION TECHNOLOGIES

MONITORAGGIO STRUTTURALE

SANITÀ

TESSILE

Ecosistema di Innovazione, Digitalizzazione e Sostenibilità  
per l'economia diffusa nel centro Italia

# SVILUPPO E OTTIMIZZAZIONE DI UNA PIATTAFORMA BIOTECNOLOGICA PER LA PRODUZIONE DI BUILDING-BLOCKS DA FONTI BIOLOGICHE RINNOVABILI.

Adatti al monitoraggio strutturale degli edifici in muratura

Technology Readiness Level



Resistenza a rottura



Elasticità



Versatilità



Biodegradabilità modulabile



Bassa permeabilità



PRODOTTO



## PIATTAFORMA BIOTECNOLOGICA INNOVATIVA PER LA PRODUZIONE DI ACIDI DICARBOSSILICI DA UTILIZZARE IN POLIMERI BIODEGRADABILI

Gli acidi dicarbossilici (DCA), o diacidi, sono importanti composti organici utilizzati per la produzione di copolimeri, poliesteri e poliammidi con applicazione industriale, o come precursori di principi attivi e additivi. I bio-poliesteri ottenuti dalla policondensazione dei diacidi sono una classe di spicco all'interno delle bioplastiche, in quanto possono essere lavorati utilizzando tecnologie paragonabili a quelle utilizzate per le plastiche tradizionali e in alcuni casi vanno incontro a biodegradazione in specifiche condizioni. I DCA sono tipicamente prodotti mediante sintesi chimica, ma la biotrasformazione con substrati idrofobici, quali alcani o acidi grassi, ha attirato par-

ticolare attenzione come alternativa ecosostenibile alla sintesi di diacidi. L'applicazione di sistemi biocatalitici ha infatti il potenziale di produrre DCA ad alto valore in modo economicamente vantaggioso, particolarmente quando ottenuti da fonti rinnovabili, ad esempio da sottoprodotti agro-industriali. Nell'ambito di VITALITY, Novamont sta lavorando all'ottimizzazione di una piattaforma biotecnologica per la valorizzazione di substrati rinnovabili nella produzione di DCA a lunga catena, come elementi costitutivi per la sintesi di materiali rinnovabili e di origine biologica altamente innovativi.



## Acidi dicarbossilici per applicazioni su biomateriali



Il metodo chimico convenzionale utilizzato per la produzione di DCA è caratterizzato da un lungo processo di sintesi, in quanto l'intera reazione è composta da diverse fasi catalitiche, che richiedono temperature e pressioni elevate e rendono il processo molto impegnativo in termini di energia e costi (1). D'altra parte, i DCA possono essere anche prodotti per via biologica utilizzando gli zuccheri come substrato metabolico e gli acidi grassi come materia prima per la biotrasformazione microbiologica, con un processo economico che utilizzi risorse rinnovabili. La fermentazione microbiologica per la produzione di diacidi a catena lunga è una tecnologia vantaggiosa rispetto ai classici metodi chimici di sintesi, poiché riduce l'uso di sostanze chimiche e la produzione di sottoprodotti e contaminanti dannosi per l'ambiente (2). Nei lieviti, gli acidi grassi derivanti da diversi tipi di oli possono essere convertiti in diacidi, grazie alla trasformazione chimica dei gruppi metilici delle catene di carbonio in gruppi carbossilici attraverso un processo di  $\omega$ -ossidazione (3). Inoltre, agendo sul genoma del microrganismo è possibile aumentare le rese di conversione, e in taluni casi anche produrre acidi dicarbossilici a lunga catena, difficili da sintetizzare chimicamente. Utilizzando una piattaforma biotecnologica ingegnerizzata, Novamont ha sviluppato e ottimizzato un processo di biotrasformazione proprietario per produrre acidi dicarbossilici a partire da substrati oleosi. Il processo è stato potenziato, mettendo a punto la composizione del terreno di coltura per ridurre i costi delle materie prime, selezionando la fonte di carbonio ottimale per la crescita microbica e il miglioramento della produt-

tività e riducendo al minimo le interferenze di potenziali sottoprodotti nelle fasi di purificazione. Le attività di ricerca si sono concentrate anche sulla selezione del miglior substrato oleoso per ottenere un alto tasso di conversione e un aumento delle prestazioni (resa, produttività, produzione di DCA). Il prodotto purificato è stato testato nella sintesi di polimeri per studiarne le proprietà al fine di sviluppare nuovi materiali bioplastici a base biologica. Le caratteristiche fisico-chimiche delle miscele polimeriche saranno valutate con l'obiettivo di identificare quei biomateriali con superiori proprietà elastiche, resistenza a sollecitazioni e proprietà impermeabili, che consentirebbero di estendere la gamma di applicazioni in cui tali proprietà rappresentano un valore aggiunto.

### REFERENCES

- [1] Le Lu, J., Quian, Z.G., Zhong, J.J., (2018). Advances in bio-based production of dicarboxylic acids longer than C4. *Engineering in Life Sciences*.
- [2] Gu, S., Zhu, F., Zhang, L., Wen, J., (2024).. 2024, 72, 11, 5555–5573; Mid-Long Chain Dicarboxylic Acid Production via Systems Metabolic Engineering: Progress and Prospects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- [3] Iglesia, J., Martínez-Salazar, I., Maireles-Torres, P., Martín Alonso, D., Mariscal, R., López Granados, M., (2020). Advances in catalytic routes for the production of carboxylic acids from biomass: a step forward for sustainable polymers. *Chemical Society Reviews Journal*.

### CONTATTI

**Referente progetto: Fabio Apone**  
**E-mail: [fabio.apone@novamont.com](mailto:fabio.apone@novamont.com)**



# CALCESTRUZZI SENSIBILI PER STRUTTURE PIÙ SICURE E SOSTENIBILI

## COMPOSITI MULTIFUNZIONALI PER IL MONITORAGGIO STRUTTURALE E LA STAMPA 3D DELLE COSTRUZIONI


  
 Technology Readiness Level



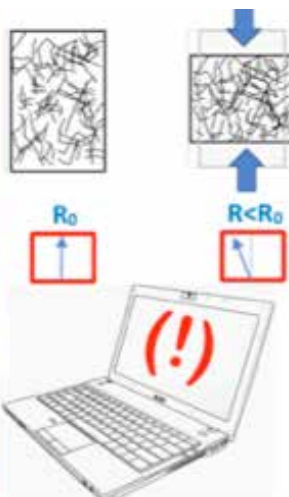
Multifunzionalità



sensibilità alle azioni esterne



facilità di realizzazione



### SOLUZIONI AVANZATE PER REALIZZARE E MONITORARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO DI NUOVA GENERAZIONE



I calcestruzzi sensibili (sensitive concrete) sono materiali cementizi innovativi che associano alle capacità meccaniche proprie dei materiali da costruzione, altre funzionalità, come l'automonitoraggio (self-sensing), e che presentano caratteristiche adatte alla stampa in 3D. Tali materiali cementizi, tramite opportuna selezione di filler conduttivi e ottimizzazione del mix design, sono capaci di rilevare eventuali variazioni di deformazione, danneggiamento e variazioni nelle condizioni ambientali (temperatura e umidità) attraverso la variazione delle loro proprietà elettriche (e.g. resistenza, capacità, impedenza ecc), generando un sistema di monitoraggio che potenzialmente si può estendere in ogni parte della struttura. Per garantire un'elevata affidabilità del prodotto, è fondamentale selezionare con cura i filler e le modalità di produzione più appropriati, oltre a definire un sistema di misura, registrazione e elaborazione dei dati specifico per la struttura o infrastruttura da realizzare e monitorare. Elementi di calcestruzzo intelligente di piccole dimensioni possono essere integrati anche in aree ristrette o all'interno degli elementi strutturali, opportunamente scelti per assicurare l'affidabilità del sistema di monitoraggio.

INDUSTRIA | BIOMATERIALI | ELEMENTI COSTITUTIVI

## Calcestruzzi sensibili per la valutazione dell'integrità strutturale e della sicurezza delle strutture



Il calcestruzzo, a causa della propria natura composita, si presta facilmente alla modifica o aggiunta di componenti per incrementare alcune caratteristiche o svilupparne di nuove. Esso costituisce il materiale da costruzione più utilizzato al mondo grazie alla sua versatilità e alla facilità di posa in opera. Tale materiale costruttivo però, benché possieda una buona resistenza a compressione, presenta una bassa resistenza a trazione e problemi di durabilità in particolari condizioni di servizio, risultando così vulnerabile alle azioni esterne (e.g. azioni sismiche) e a condizioni ambientali particolarmente aggressive.

L'aggiunta di filler all'interno della matrice cementizia può migliorare le capacità meccaniche del calcestruzzo, sia in termini di resistenza che di duttilità. Inoltre, se le inclusioni possiedono proprietà conduttive e piezoresistive, il materiale additivato può acquisire anche proprietà aggiuntive, come l'auto-monitoraggio delle condizioni termo-igrometriche e dello stato di deformazione e danneggiamento. Ad esempio, attraverso la correlazione tra le variazioni di deformazione degli elementi strutturali e le variazioni di risposta elettrica del materiale, si possono identificare possibili criticità dovute ad alterazioni eccessive, segno di danni incipienti o progressivi. Il calcestruzzo sensibile può essere localizzato in zone chiave della struttura, attraverso l'inserimento di piccoli elementi, oppure potenzialmente può essere utilizzato per realizzare interi elementi di costruzioni in cemento armato. Infatti, se opportunamente selezionate e disperse, le inclusioni piezoresistive possono essere introdotte semplicemente nel processo produttivo al pari di altre fibre utilizzate in edilizia.

Tale facilità di realizzazione permette anche l'utilizzo di innovative tecnologie costruttive, come la stampa 3D, che ottimizzano le fasi produttive, diminuendo i costi, i tempi di realizzazione e gli sfridi di materiale, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale. La tecnologia di stampa del calcestruzzo in 3D rappresenta una svolta nel campo dell'edilizia per produrre edifici, ponti e altre strutture a basso costo e in situazioni disagiate.

Il calcestruzzo sensibile auto-monitorante (self-sensing) agisce come un sensore di deformazione ma a differenza dei trasduttori tradizionali, come gli estensimetri, non ha problemi di applicazione (non deve essere applicato e controllato durante la vita utile della struttura perché parte stessa della struttura), ha costi inferiori, permette un monitoraggio esteso (gli estensimetri forniscono solo le misurazioni delle variazioni nella zona di applicazione).

Come per i sensori tradizionali, il sistema di monitoraggio con calcestruzzo self-sensing deve prevedere un sistema di acquisizione adeguato per l'applicazione della tensione (in corrente continua, alternata o bifasica), la misurazione degli output elettrici, la riduzione del rumore e la rielaborazione dei segnali, al fine di individuare in tempo reale situazioni strutturali critiche, come eccessive deformazioni, formazione e propagazione di quadri fessurativi, cedimenti fondali, e altri scenari di danno. Tale tecnologia può risultare anche molto utile per la valutazione speditiva della sicurezza strutturale di edifici e infrastrutture a seguito di eventi critici, naturali o eccezionali.

I filler utilizzati per dotare i calcestruzzi sensibili di proprietà auto-diagnosticanti sono a base di carbonio come nano- e micro-fibre, nanotubi di carbonio, grafene, grafite, carbon black: in particolare, per applicazioni a scala reale, dove la dispersione ottimale deve essere garantita anche per grandi volumi di materiale, le microfibre e gli ossidi rappresentano le alternative più promettenti. Applicazioni interessanti possono riguardare anche interventi di ripristino strutturale di elementi in cemento armato degradato, dove il calcestruzzo intelligente può essere utilizzato per sostituire il materiale ammalorato.

### CONTATTI

Referente progetto: **Filippo Ubertini**

E-mail: [filippo.ubertini@unipg.it](mailto:filippo.ubertini@unipg.it)

Tel.: 0755853954



# PRODOTTI AD USO COSMETICO E DERMATOLOGICO A BASE DI BIOMATERIALI DA FONTI SOSTENIBILI

Adatto sia per strutture sanitarie che per mass market



Technology Readiness Level



Azione  
antimicrobica  
e rigenerante



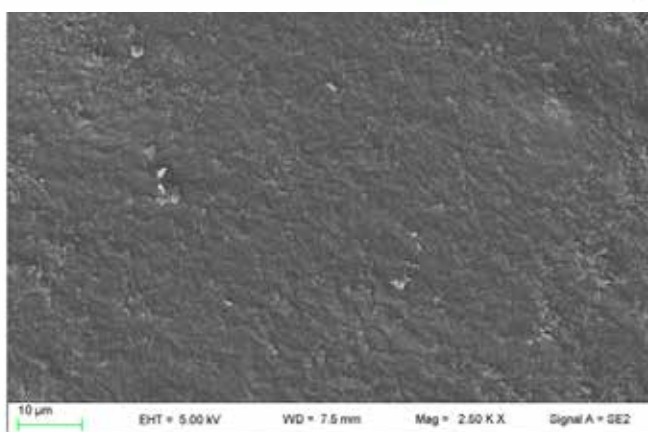
facilità di  
realizzazione



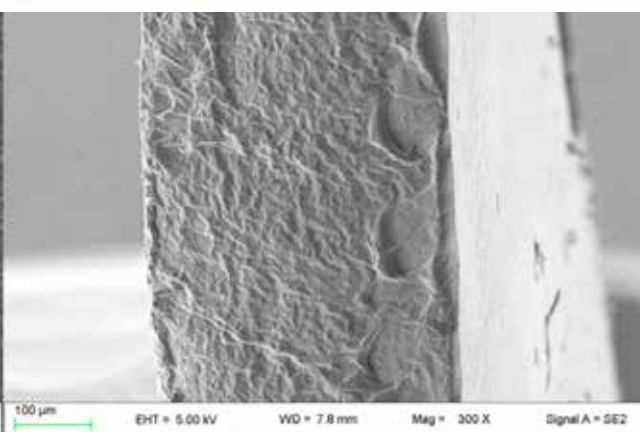
Sicuro



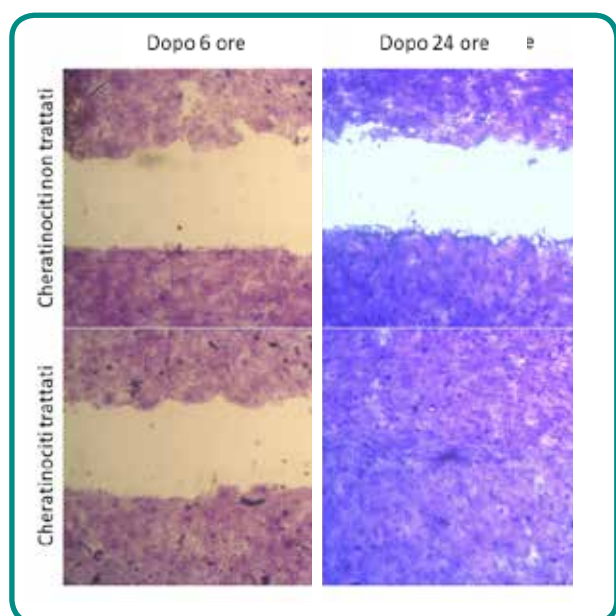
Biosostenibile



Micrografia della superficie del film



Micrografia dello spessore del film

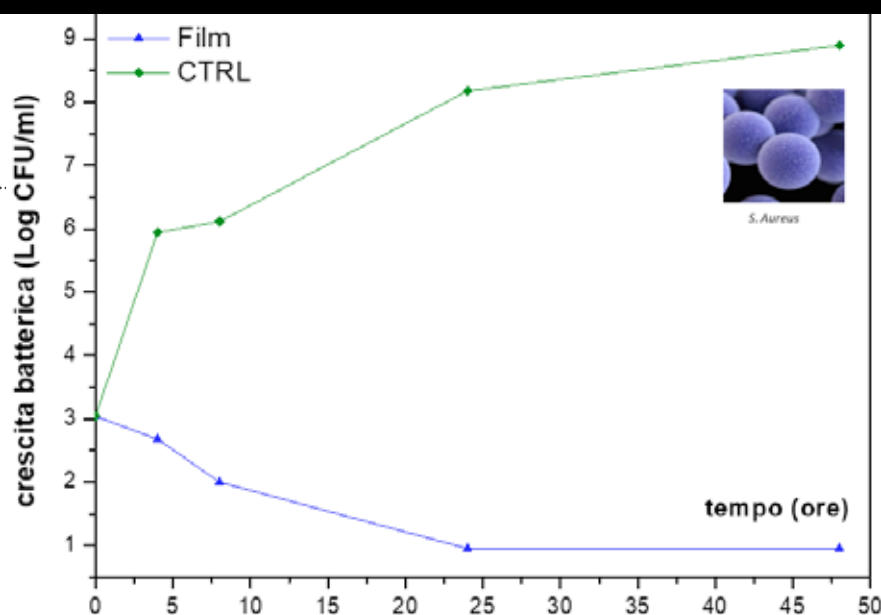


## UN PRODOTTO DERMATOLOGICO DAGLI SCARTI DELLE NOCCIOLE

Il prodotto sviluppato è un film polimerico ottenuto impiegando materie prime di origine naturale, quali chitosano e argilla verde, che a seguito di una procedura semplice e scalabile forniscono un prodotto versatile di facile applicazione. Il recente Regolamento 2023/2055 ha imposto delle limitazioni all'uso di polimeri sintetici classificabili come microplastiche e, a tal fine, si è reso necessario in molti settori industriali ricercare delle valide alternative. Il film contiene un estratto ottenuto a partire dai gusci delle nocciole, prodotto notoriamente considerato come scarto, che presenta delle attività interessanti da sfruttare nel settore della salute.



## UN'ALTERNATIVA AI CEROTTI MEDICATI CONVENZIONALI



Le formulazioni attualmente disponibili in commercio, soprattutto quelli contenenti ingredienti attivi come molecole ad azione antimicrobica, possiedono molte limitazioni. La prima è che il contatto di tali molecole con la pelle può portare a una alterazione del microbiota cutaneo e ciò rappresenta un fattore responsabile dello sviluppo della resistenza batterica. Un altro aspetto da considerare, strettamente legato alla formulazione, è che l'adesione dei cerotti sulla pelle è promossa dall'uso di adesivi che al momento della rimozione provocano dolore e spesso distruzione di tessuti neoformati o comunque delicati. Inoltre la maggior parte dei materiali che si usa in queste formulazioni è rappresentata da materie prime di sintesi o semi-sintesi che potrebbero essere configurate come microplastiche sulla base del nuovo regolamento 2023/2055. I film sviluppati cercano di superare queste limitazioni partendo dall'impiego di materie prime naturali e sostenibili. A tale scopo viene utilizzato il polimero chitosano, ottenuto dalla deacetilazione della chitina, polisaccaride contenuto nell'esoscheletro dei crostacei (abbondante prodotto di scarto dell'industria alimentare). I film ottenuti da questo polimero non sono molto resistenti ed è per questo che il chitosano viene combinato con un filler (argilla verde) in grado di migliorare le proprietà meccaniche. In questo modo il film assume caratteristiche di elevata maneggevolezza, elasticità e flessibilità. L'uso del chitosano fornisce inoltre al prodotto proprietà autoadesive; ciò significa che è in grado di aderire alla pelle senza l'uso di colle sintetiche. Questo garantisce non solo una facile applicabilità ma soprat-

tutto una rimozione non traumatica e non dolorosa in quanto può essere facilmente eliminato con semplice lavaggio con acqua tiepida. Dopo applicazione si conforma perfettamente alla superficie cutanea e risulta impercettibile, quindi confortevole durante l'utilizzo. I residui ottenuti dal processo di rimozione non rappresentano un problema ambientale e non richiedono procedure particolari di smaltimento. L'ingrediente attivo contenuto in questo prodotto, è costituito da un estratto ottenuto dai gusci delle nocchie impiegando una miscela idroalcolica come solvente di estrazione. L'estratto, ricco di composti fenolici, tra i quali il più abbondante è l'acido gallico, presenta delle interessanti attività da sfruttare nel settore della salute, in particolare quello dermatologico. E' infatti dotato di attività antiossidante, antimicrobica (in quanto inibisce la crescita di alcuni microrganismi come lo *S. aureus*), stimolante la crescita di cellule dell'epidermide (cheratinociti). Il prodotto sviluppato quindi concilia le necessità di avere a disposizione una formulazione efficace che però allo stesso tempo possa rispettare l'ambiente.

### CONTATTI

**Referente progetto: Luana Periola**

Dipartimento di Scienze Farmaceutiche,

**E-mail:** [luana.periola@unipg.it](mailto:luana.periola@unipg.it)

**Tel.:** 0755855133

**Cinzia Pagano**

Dipartimento di Scienze Farmaceutiche

**E-mail:** [cinzia.pagano@unipg.it](mailto:cinzia.pagano@unipg.it)

**Tel.:** 0755855158



# VALORIZZAZIONE DI BIOMASSE

Definizione di procedure a basso impatto ambientale per l'impiego di fonti rinnovabili



Technology Readiness Level



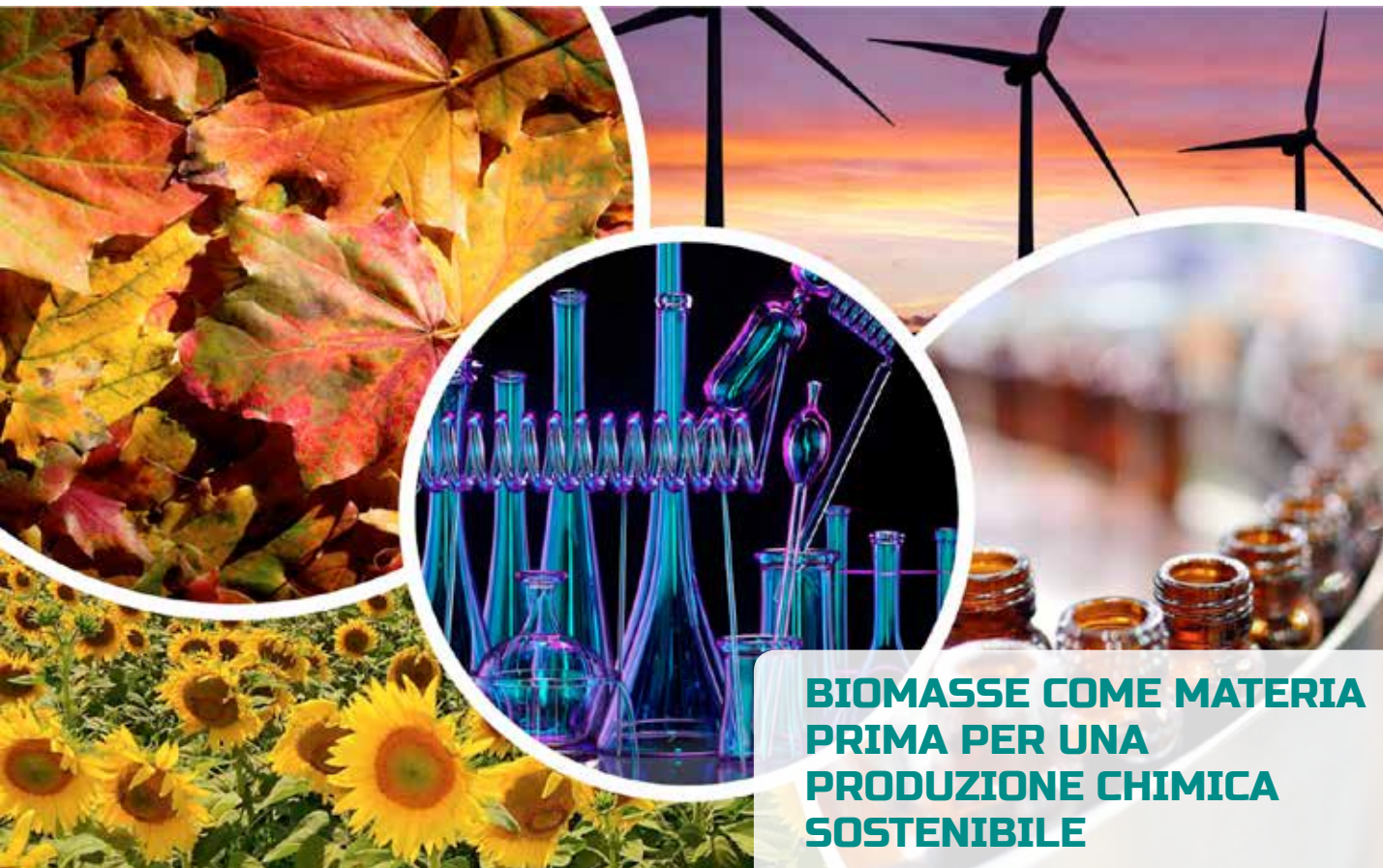
Sostenibilità



Efficienza



Sicurezza



## BIOMASSE COME MATERIA PRIMA PER UNA PRODUZIONE CHIMICA SOSTENIBILE

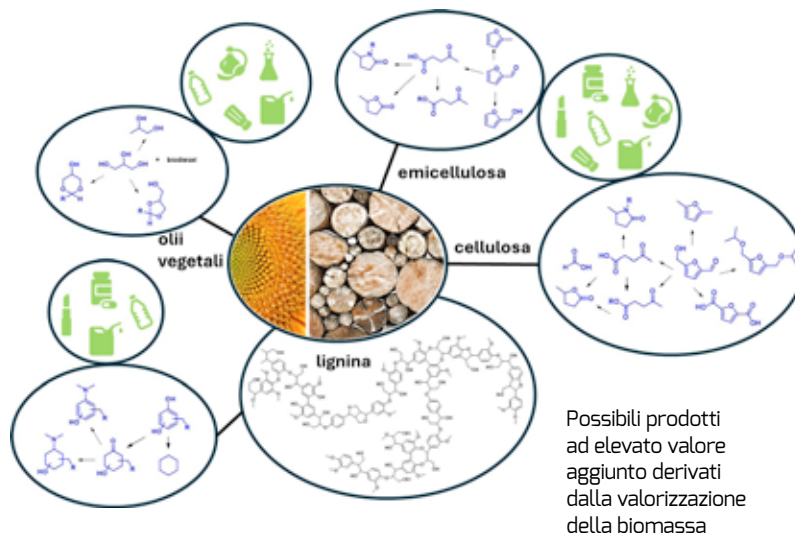


Sviluppo di tecnologie e catalizzatori per trasformare in modo efficiente e applicabile materiali derivanti da fonti rinnovabili e di scarto. La moderna crisi economica e ambientale ha ispirato a livello globale la definizione di nuove politiche incentivando la transizione verso un'energia pulita ed una produzione chimica più sostenibile. In questo contesto, l'impiego della biomassa come fonte di carbonio, rinnovabile e abbondante, è un passo fondamentale per sostituire le materie prime di origine fossile nella produzione di biocarburanti e prodotti chimici. Tuttavia, date le ancora importanti differenze economiche tra i processi che coinvolgono fonti rinnovabili e fossili, la definizione di nuovi protocolli, economici, facili e sostenibili è necessario. L'utilizzo di nuove tecnologie, la progettazione di catalizzatori performanti e la valutazione dell'impatto ambientale ed economico, sono elementi chiave, così come anche la loro sinergia, nel design di prodotti e processi alternativi all'ormai insostenibile sfruttamento di materie prime non rinnovabili.



INDUSTRIA CHIMICA | INDUSTRIA FARMACEUTICA | BIOCARBURANTI | BIOPOLIMERI

## Alternative a basso impatto ambientale alla dipendenza da fonti non rinnovabili



L'eccessivo sfruttamento delle fonti fossili che ha portato all'attuale crisi energetica è oggi associato anche a serie preoccupazioni sociali ed economiche. Infatti, oltre all'inquinamento ambientale e all'irrefrenabile riscaldamento globale, l'incertezza su una sicurezza su approvvigionamenti futuri pone gravi preoccupazioni socioeconomiche. Per queste ragioni, la valorizzazione della biomassa sta prendendo sempre più piede nella comunità scientifica mondiale come alternativa rinnovabile per la produzione di una miriade di prodotti di chimica fine e di bulk, combustibili, prodotti farmaceutici e materiali. Sebbene la vastità di composti ad elevato valore aggiunto che si possono ottenere dalla processazione di molecole piattaforma rende i processi di valorizzazione della biomassa estremamente interessanti, la diversità di percorsi e prodotti pone spesso dei limiti di selettività che rendono tale produzione generalmente più costosa e per questo meno attrattiva industrialmente rispetto agli ormai consolidati processi che sfruttano fonti fossili. Di seguito si riportano alcuni esempi di processi sviluppati in sinergia con l'utilizzo di tecnologie alternative e mirando ad una minimizzazione di rifiuti e ad una produzione chimica sostenibile. Particolarmente interessante è la valorizzazione del 5-idrossimetilfurfurale e dei suoi derivati. Tramite un processo di ossidazione è infatti possibile ottenere l'acido furandicarbossilico (FDCA), sostituto rinnovabile dell'acido tereftalico nel PET (polietilene tereftalato) utile per la produzione del polimero rinnovabile PEF (polietilene furanoato). Sebbene la molteplicità di sottoprodotti che possono derivare da tale trasformazione renda spesso necessario l'utilizzo di metalli nobili come catalizzatori e di forti ossidanti, sfruttando una tecnologia in flusso continuo è stato possibile ottimizzare il processo con l'impiego di un catalizzatore eterogeneo largamente disponibile ed aria come ossidante. Una diversa molecola piattaforma ottenibile dal 5-idrossimetilfurfurale è l'acido levulinico, prodotto in quantità equimolare con l'acido formico. Essendo l'acido formico una fonte di

idrogeno rinnovabile, il suo utilizzo in diversi processi idrogenativi sta riscuotendo un grande interesse. Ancor di più l'impiego della miscela acido levulinico/acido formico per la produzione di solventi rinnovabili, come ad esempio il  $\gamma$ -valerolattone e diversi pirrolidoni N-sostituiti, capaci di sostituire i convenzionali mezzi di reazione tossici (NMP). In tali trasformazioni il design di catalizzatori efficienti gioca un ruolo chiave. Infatti, la possibilità di guidare il processo selettivamente verso un unico prodotto, consente di ottimizzare gli step successivi di isolamento e purificazione minimizzando i rifiuti. Un altro esempio di grande valore industriale è l'idrogenazione selettiva del fenolo a cicloesanone, precursore chiave per la sintesi del nylon 6 e nylon 6,6. Anche in questo caso l'utilizzo sinergico di diversi strumenti, quali catalisi eterogenea e flusso continuo, hanno reso possibile l'ottimizzazione delle condizioni di reazione per una idrogenazione selettiva applicabile a diversi fenoli. Prendendo come punto di partenza tale processo, è stata successivamente ottimizzata una reazione di amminazione riduttiva che ha consentito la sintesi di cicloesilammine variamente sostituite e di un intermedio chiave del Sertraline, composto di interesse farmaceutico. Essendo la biomassa lignocellulosica largamente disponibile anche sotto forma di rifiuto, la sua valorizzazione a dare materiali stabili e duraturi è oggi centrale in una transizione verso un'economia e una produzione più sostenibili.

### CONTATTI

**Referente progetto: Luigi Vaccaro**

**E-mail:** [luigi.vaccaro@unipg.it](mailto:luigi.vaccaro@unipg.it)

**Tel.:** 0755855541

**Sito web:** <https://greensoc.chm.unipg.it/>

**Federica Valentini**

Dipartimento di Scienze Farmaceutiche

**E-mail:** [federica.valentini@unipg.it](mailto:federica.valentini@unipg.it)





PRODOTTO

# CATALIZZATORI DA BIOMASSA DI SCARTO

Da rifiuti urbani a catalizzatori eterogenei durevoli

Technology Readiness Level



Efficienza  
catalitica



Durabilità

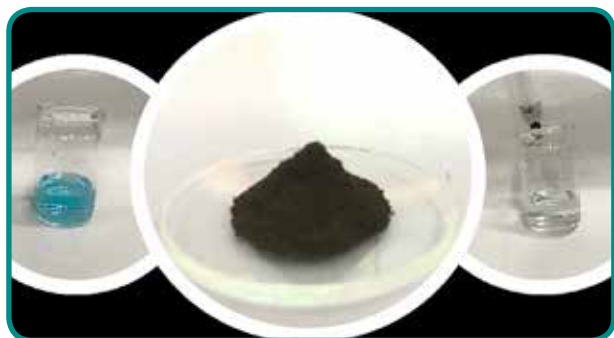


Versatilità



## VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI A SISTEMI CATALITICI EFFICIENTI

Preparazione di materiali di interesse per la purificazione delle acque e la catalisi industriale nella chimica fine e farmaceutica. La valorizzazione di comuni rifiuti urbani è di centrale importanza per definire strategie alternative allo smaltimento o all'incenerimento. Particolare attenzione è stata posta sugli aghi di pino, ampiamente abbondanti nelle regioni centrali dell'Italia oltre che in diverse aree geografiche. È stato definito un metodo efficiente ed economico per convertire la frazione lignocellulosica degli aghi di pino in un biochar in grado di agire come adsorbente per la purificazione dell'acqua, come catalizzatore acido solido o come supporto per catalizzatori metallici eterogenei. Oltre all'efficienza e alla versatilità, il materiale ha mostrato una notevole durabilità potendo essere recuperato e riutilizzato per cicli consecutivi. La bassa perdita del metallo in soluzione durante i processi catalitici ha ulteriormente evidenziato l'efficienza a lungo termine del materiale sviluppato in un contesto di economia circolare



INDUSTRIA CHIMICA | INDUSTRIA FARMACEUTICA



## CATALIZZATORI DERIVATI DA BIORIFIUTI



L'abbondanza di scarti di aghi di pino e il pericolo che rappresentano se lasciati a terra, a causa della loro infiammabilità, rendono particolarmente interessante la ricerca di strategie alternative al loro incedimento. Sebbene l'attenzione sia sempre stata principalmente focalizzata alla valorizzazione delle componenti estrattive, da utilizzare in cosmetica, farmaceutica e nella preparazione di materiali compositi; data l'elevata rilevanza di questi progetti, la nostra strategia si sviluppa parallelamente puntando, quindi, alla valorizzazione della componente lignocellulosica residua generalmente sottoutilizzata.

Dopo pretrattamenti fisici e chimici, la lignocellulosa residua viene convertita efficientemente in biochar in condizioni blande e seguendo una procedura step-economical. Infatti, le fasi di carbonizzazione, attivazione e funzionalizzazione avvengono in un unico step. Il carbone attivo così ottenuto è stato denominato PiNe, da Pine Needles, dimostrandosi versatile in diverse applicazioni.

A causa delle condizioni sintetiche, la superficie del PiNe è altamente funzionalizzata consentendo l'adsorbimento di contaminanti metallici o organici e risultando quindi efficiente nella purificazione delle acque. Il metodo di preparazione permette un controllo delle funzionalità e proprietà del biochar rendendo possibile di preparare un materiale su misura per l'applicazione desiderata. Inoltre, queste funzionalità possono essere sfruttate per catalizzare trasformazioni organiche promosse da acidi. In questo contesto, particolarmente interessante è il protocollo sviluppato per la valorizzazione dell'acido levulinico, molecola piattaforma di grande interesse, in aromi e additivi per biocarburanti.

Tutti i prodotti sono stati ottenuti con una resa elevata e con una quantità minima di rifiuti prodotti. Ciò è stato possibile grazie agli sforzi volti allo sviluppo di una procedura in accordo con i principi della Green Chemistry. Una diversa applicazione del PiNe è il suo utilizzo come supporto eterogeneo per nano-

particelle metalliche. Tramite un metodo poliolio opportunamente modificato, sono state immobilizzate nanoparticelle di Pd su PiNe ottenendo il catalizzatore eterogeneo Pd/PiNe. Le nanoparticelle ottenute mostrano un diametro medio di circa 4 nm rendendo il catalizzatore sviluppato morfologicamente paragonabile al Pd/C disponibile in commercio.

Il Pd/PiNe ha mostrato buone prestazioni catalitiche nella formazione di nuovi legami C-C con una perdita di metallo in soluzione ridotta rispetto al Pd/C, e una buona durabilità per diversi cicli consecutivi. Inoltre, il catalizzatore derivato dai rifiuti organici tollera bene l'utilizzo di mezzi di reazione rinnovabili bio-derivati, anche in combinazione con tecnologie alternative, come la sintesi organica assistita da irradiazione con microonde e il flusso continuo, nonché il loro impiego sinergico. Nella ricerca di alternative al Pd più economiche e sostenibili, l'attenzione è stata posta su metalli più abbondanti con l'obiettivo di definire catalizzatori performanti in grado di soddisfare la domanda della generazione attuale senza influenzare i bisogni delle generazioni future.

È stata, infatti, ottimizzata la procedura per l'ottenimento di un catalizzatore Ni/PiNe efficiente in diverse trasformazioni. Altri metalli non nobili sono in fase di studio. Inoltre, i promettenti risultati ottenuti dalla valorizzazione degli aghi di pino aprono la strada alla ricerca di diversi rifiuti da valorizzare e convertire in materiali ad elevato valore aggiunto ed altamente durevoli e riciclabili.

### CONTATTI

**Referente progetto: Luigi Vaccaro**

**E-mail:** [luigi.vaccaro@unipg.it](mailto:luigi.vaccaro@unipg.it)

**Tel.:** 0755855541

**Sito web:** <https://greensoc.chm.unipg.it/>

**Federica Valentini**

Dipartimento di Scienze Farmaceutiche

**E-mail:** [federica.valentini@unipg.it](mailto:federica.valentini@unipg.it)



# SINTESI INNOVATIVE DI “ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENTS” (API)

Un approccio sostenibile seguendo i principi della green chemistry



Technology Readiness Level



Sostenibilità



Sicurezza



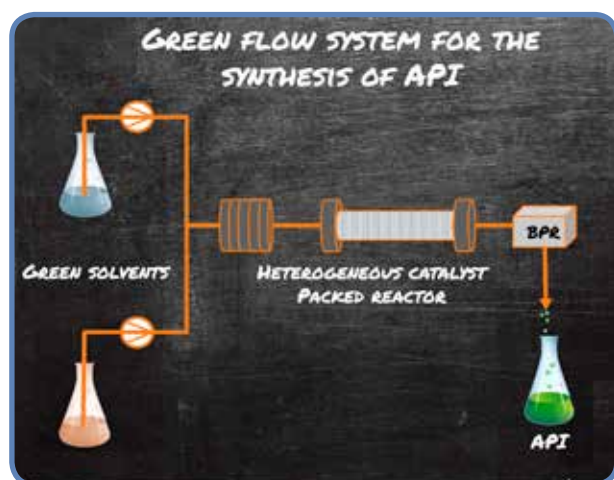
Tecnologie e prodotti chimici alternativi



Implementazione tramite analisi delle metriche



## RIMODELLARE LA SINTESI FARMACEUTICA RIDUCENDO COSTI E SPRECHI



La sintesi di “active pharmaceutical ingredients” (API) è tradizionalmente associata a una significativa produzione di scarti e sottoprodotti, principalmente dovuti ai numerosi step di purificazione necessari per ottenere il prodotto finale. Questo comporta inevitabilmente costi elevati legati sia alla produzione che allo smaltimento dei rifiuti, i quali sono spesso costituiti da solventi organici e acque acide o contaminate da metalli usati come catalizzatori. Negli anni, il gruppo di ricerca Green S.O.C. ha sviluppato una solida expertise nell’implementazione di protocolli sostenibili e scalabili per la sintesi di API, soprattutto in regime di flusso continuo, utilizzando i principi della chimica verde come l’uso di solventi alternativi nonché di catalizzatori eterogenei recuperabili.

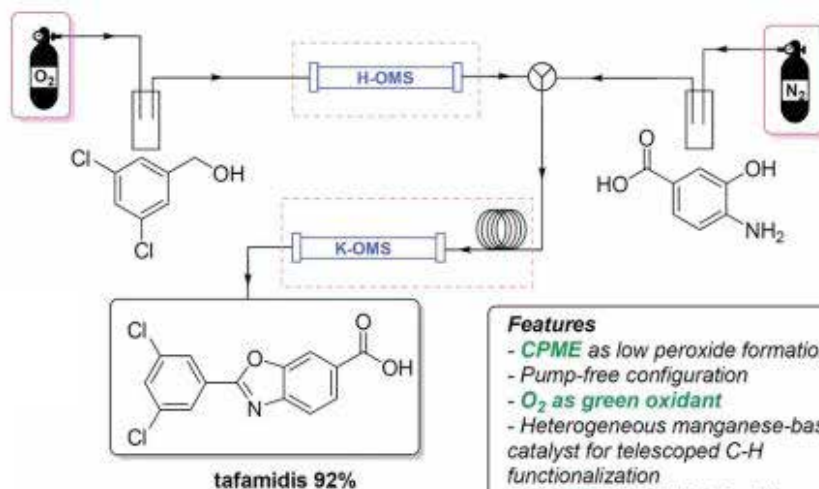
AMBIENTE | COSMETICA | INDUSTRIA CHIMICA | AGRICOLTURA  
INDUSTRIA FARMACEUTICA



# UN MODELLO GREEN PER LA SINTESI DI COMPOSTI FARMACEUTICI

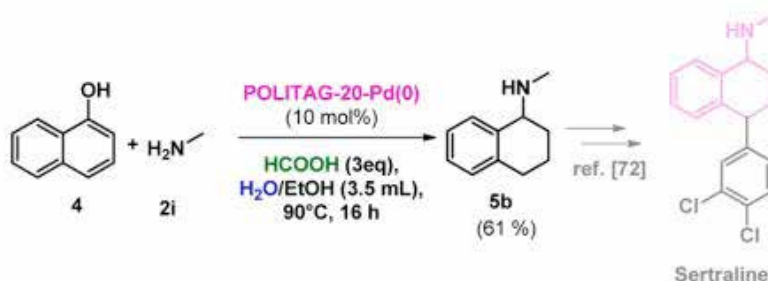
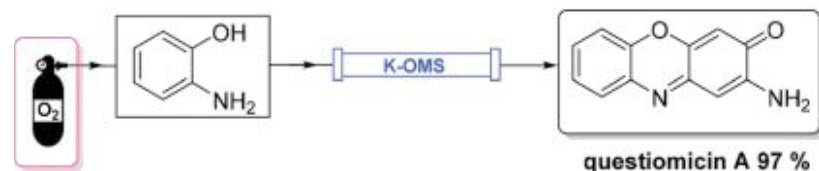
## Features

- direct C-H oxidation over heterogeneous manganese based catalyst
- Constant low leaching (ca. 0.17 ppm) over time (35 h)
- High throughput (0.6 g/h)
- CPME as green solvent
- low E-factor (1.4)



## Features

- CPME as low peroxide formation solvent
- Pump-free configuration
- O<sub>2</sub> as green oxidant
- Heterogeneous manganese-based catalyst for telescoped C-H functionalization
- low E-factor (4.4) Tafamidis production



La produzione di principi attivi di interesse farmaceutico, sin dall'avvento della Green Chemistry, è uno dei settori strategici che ha immediatamente adottato modelli industriali volti a ridurre sia i costi che i rifiuti. Nel corso degli anni, il gruppo di ricerca in Green Synthetic Organic Chemistry dell'Università degli Studi di Perugia, guidato dal Prof. Luigi Vaccaro, ha sviluppato una significativa competenza nell'ottimizzazione della sintesi di API. Tra le strategie implementate, vi sono l'uso di solventi alternativi a quelli comunemente impiegati, lo sviluppo e l'utilizzo di catalizzatori "customized" recuperabili e riutilizzabili, e l'implementazione di reazioni in flusso continuo, un metodo che aumenta l'efficienza chimica del sistema minimizzando la produzione di rifiuti e riducendo i rischi per l'operatore. Recentemente, il gruppo si è focalizzato sulla sintesi innovativa del Tafamidis, uno stabilizzante della transtiretina, attraverso un processo di CH funzionalizzazione in regime di flusso continuo. Questa sintesi, con la quale è stato possibile ottenere una resa del 92%, ha impiegato un catalizzatore eterogeneo a base di manganese, ossigeno molecolare come ossidante, e ciclopentilmetil etere come solvente alternativo. La stessa tecnologia è stata successivamente utilizzata anche per la produzione della Questionimicina A, dimostrando la versatilità della metodologia sviluppata. Inoltre, grazie a un catalizzatore etero-

geneo metallico supportato su matrice polimerica, anch'esso ideato dal gruppo di ricerca, è stato possibile sviluppare, tramite amminazione riduttiva, un intermedio chiave per la produzione della Sertralina, uno dei più importanti inibitori selettivi della ricaptazione della serotonina (SSRI). L'innovazione di questa metodologia, oltre all'utilizzo del catalizzatore "customized", è innanzitutto l'impiego dell'acido formico come generatore di idrogeno in situ, che ha permesso la messa a punto di una procedura sicura ed efficiente, al contempo evitando l'uso di elevate pressioni di H<sub>2</sub> gassoso. A corredo della progettazione ed esecuzione di procedure sintetiche per la sintesi di API, il gruppo di Green SOC implementa in maniera estensiva l'utilizzo di metriche atte a quantificare i vantaggi delle sintesi sviluppati in termini di produzione di rifiuti, efficienza di massa, sicurezza per gli operatori e tossicità o rischio ambientale. (Ref.: Vaccaro et al., Green Chem., 2023, 25, 7916-7933; Vaccaro et al., Green Chem., 2020, 22, 5937-5955)

## CONTATTI

Referente progetto: Luigi Vaccaro

E-mail: luigi.vaccaro@unipg.it

Tel.: 0755855541



# ANALISI DEL CICLO DI VITA PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DI UN PROCESSO O PRODOTTO CHIMICO

Una tecnica innovativa per la determinazione della sostenibilità nel settore chimico-industriale



Technology Readiness Level



Solidità



Affidabile



Completo



Globalmente  
riconosciuto



## Life Cycle Assessment

### UNO STRUMENTO OLISTICO VERSO LA SOSTENIBILITÀ

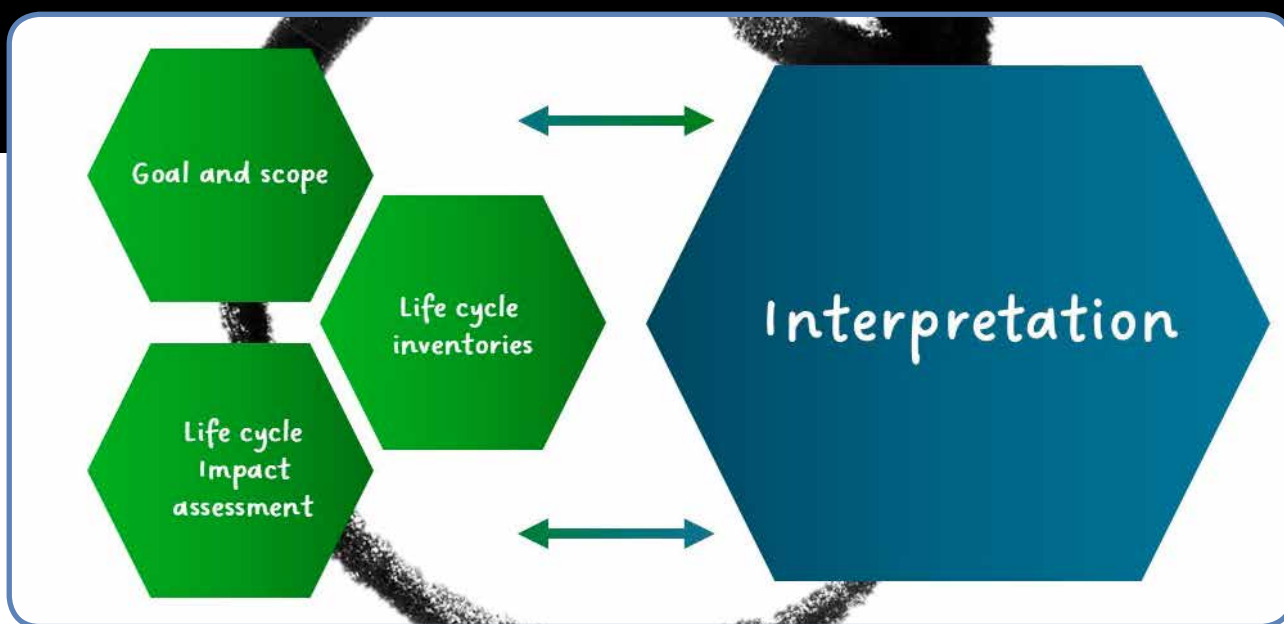


Il settore chimico-industriale da più un secolo è sicuramente uno dei pilastri portanti su cui si reggono la maggior parte delle economie mondiali. La produzione di commodities quali farmaci, plastiche, prodotti agro-chimici nonché vernici e molto altro, risultano centrali nello sviluppo socio-economico delle nazioni. Purtroppo, nel corso dei decenni, il settore chimico non è mai stato eccessivamente attento alla sostenibilità, tantomeno alla sicurezza né alla produzione di rifiuti. Con la nascita della Green Chemistry negli anni Novanta, è emersa una maggiore consapevolezza sui potenziali rischi derivanti da un uso improprio della chimica, tanto che ad oggi la ricerca della sostenibilità economica e soprattutto ambientale è sicuramente una delle tematiche principali che vengono trattate ed affrontate sia in ambito industriale che accademico. Internazionalmente, il metodo più esaustivo volto a determinare l'impatto sull'ecosistema e sulla salute umana di un prodotto o processo e sicuramente il "Life cycle assessment" (LCA), una tecnica analitica che si pone l'obiettivo di valutare l'impatto ambientale di un prodotto o di un servizio durante tutto il suo ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime, fino allo smaltimento del prodotto finito.

AMBIENTE | INDUSTRIA TESSILE | INDUSTRIA CHIMICA | EDILIZIA | ENERGIA | INDUSTRIA  
ALIMENTARE | COSMETICA | AGRICOLTURA | ELETTRONICA | INDUSTRIA FARMACEUTICA



# Life cycle assessment: un'analisi multistep per la misurazione e comprensione dell'impatto ambientale



Il "Life cycle assessment" (LCA), o "analisi del ciclo di vita" è una tecnica analitica computazionale volta alla determinazione dell'impatto che un prodotto o servizio ha sulla salute umana e sull'ambiente. Nata con l'obiettivo di essere il più completa ed esauritiva possibile, questa metodologia, sviluppatasi in maniera definitiva negli ultimissimi anni del secolo scorso, si pone come obiettivo la valutazione della sostenibilità a partire dal reperimento delle materie grezze, fino allo smaltimento e, se possibile, al riciclo del prodotto finito. L'LCA, come anticipato precedentemente consta di quattro fasi, tutte fondamentali per la buona riuscita dell'analisi. La prima, è volta a definire gli obiettivi dello studio, nonché l'unità funzionale (misura o quantità di prodotto – in termini di funzione piuttosto che fisici) per la quale si misura l'impatto ambientale, i confini del sistema (ampiezza del sistema considerato), il fabbisogno e reperimento di dati e le relative assunzioni. Successivamente si passa alla fase di inventario, che consiste nella raccolta e quantificazione dei dati relativi ai flussi in entrata e in uscita (input e output) per ciascun processo del ciclo di vita del prodotto. Una volta creato il database del processo in esame, si procede con la valutazione degli impatti tramite diversi metodi di calcolo, suddividendo gli effetti in varie categorie di impatto ambientale. L'ultima fase dello studio, altrettanto importante, è l'interpretazione dei risultati, dove questi vengono analizzati per fornire raccomandazioni mirate alla riduzione dell'impatto. È evidente, quindi, che un'analisi del ciclo di vita rappresenta uno strumento essenziale in am-

bito accademico, ma anche per tutte quelle aziende che vogliono adottare una strategia orientata alla sostenibilità. Tale analisi consente di individuare infatti le fasi critiche del processo produttivo e i punti su cui intervenire per ridurre l'impatto ambientale. Recentemente il nostro gruppo di ricerca si è dotato di uno dei migliori e più performanti software presenti sul mercato per la messa a punto dell'analisi del ciclo di vita, con il quale siamo in grado di valutare l'impatto complessivo di un processo sintetico. Ottimi risultati sono già stati raggiunti, riuscendo con successo a confermare i miglioramenti in termini di efficienza chimica e sostenibilità ambientale già ottenuti e al tempo stesso verificati mediante l'utilizzo di metriche green.

(Ref.: Campana, F.; Zhou, K.; Yunda, J. A.; Nazari, A.; Bonifazi, D.; Melinte, S.; Vaccaro, L. Assessing the Energetic and Environmental Sustainability of Organic Borazines Preparation: A Comprehensive Life Cycle Assessment and Uncertainty Analysis. Chem. Eng. J. 2024, In Press.)

## CONTATTI

**Referente progetto: Luigi Vaccaro**

**E-mail:** [luigi.vaccaro@unipg.it](mailto:luigi.vaccaro@unipg.it)

**Tel.:** 0755855541

**Sito web:** <https://greensoc.chm.unipg.it/>

**Filippo Campana**

**E-mail:** [filippo.campana@unipg.it](mailto:filippo.campana@unipg.it)



# ELETTROVALORIZZAZIONE

Valorizzazione e sintesi elettroassistita a basso impatto ambientale



SERVIZIO

Technology Readiness Level



Versatilità



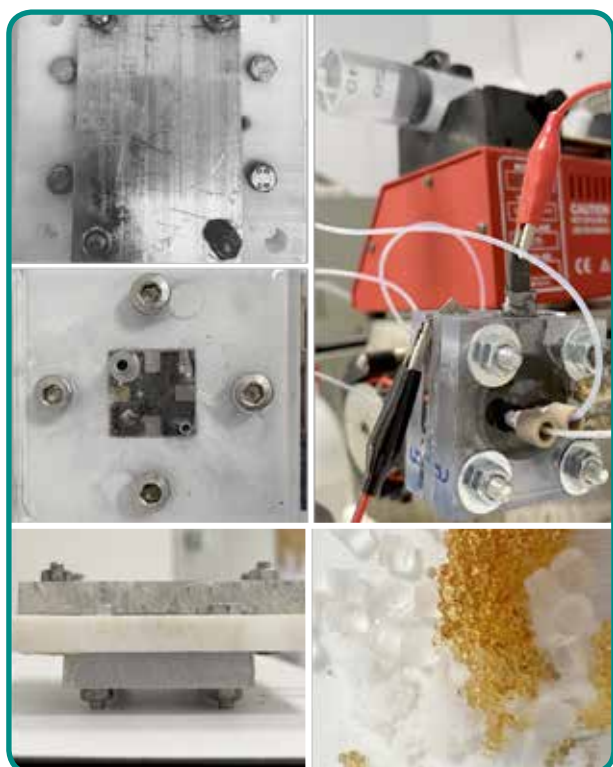
Efficienza  
energetica



Valorizzazione  
di rifiuti



## VALORIZZAZIONE DI BIOMASSE E SINTESI ELETTROASSISTITA



Sviluppo e implementazione di sistemi per convertire o valorizzare diversi substrati o matrici di partenza in prodotti a valore aggiunto mediante l'utilizzo di tecnologie elettrochimiche. Le attuali problematiche energetiche e ambientali dirigono sempre più la ricerca verso un utilizzo responsabile dell'energia e verso una produzione chimica a basso impatto ambientale. In questo contesto, l'impiego di sistemi elettrochimici è un'importante alternativa all'utilizzo dei convenzionali sistemi termici nella produzione di commodities. Tuttavia, gli attuali processi elettrochimici implicano l'utilizzo di metalli, a volte rari, per le componenti elettrodiche e di composti elettrolitici, non recuperabili, che portano inevitabilmente a problematiche ambientali. La definizione di nuovi approcci, economici e sostenibili è quindi necessaria. L'accurata progettazione di sistemi elettrolitici, possibilmente recuperabili, e la valutazione sull'utilizzo di materiali di scarto per la fabbricazione degli elettrodi sono elementi cruciali, così come lo sono la loro implementazione in sistemi di produzione in continuo.



INDUSTRIA CHIMICA | INDUSTRIA FARMACEUTICA | BIOCARBURANTI | SOLVENTI

**Sviluppo di  
processi  
elettrochimici  
alternativi  
ed innovativi  
a basso  
impatto  
ambientale**



Per limitare il riscaldamento globale, il concetto di "carbon neutrality" sta diventando una sfida sempre più urgente. La decarbonizzazione dell'industria chimica riveste un'importanza strategica particolare, poiché è responsabile del 15% delle emissioni globali di gas serra (GHG) di origine industriale. In questo contesto, la produzione elettrochimica basata sull'uso di elettricità proveniente da fonti rinnovabili si sta affermando come un'alternativa promettente per ridurre la carbon footprint dei prodotti chimici. Sebbene la ricerca sull'impiego di processi elettrolitici per la produzione di idrogeno verde e la riduzione della CO<sub>2</sub> sia in espansione, i processi elettrochimici industriali sono attualmente limitati principalmente a settori quali la produzione di cloro, soda e di alluminio. Per riuscire nell'ambiziosa applicazione dell'elettrochimica alla sintesi chimica industriale, molti ricercatori stanno concentrando i loro sforzi sull'ottimizzazione di parametri chiave come l'efficienza energetica, la selettività, la produttività nel tempo e l'efficienza degli elettrocatalizzatori. Detto ciò, appare evidente che l'uso dell'elettrochimica nella sintesi organica rappresenta una nuova frontiera tecnologica che si sta dimostrando utile per lo sviluppo di metodologie sintetiche efficienti. L'impiego di una corrente di elettroni come sostituto di reagenti "redox", spesso tossici e costosi, costituisce certamente un approccio più vantaggioso in termini di efficienza chimica e sostenibilità complessiva. A dimostrazione di ciò, l'"elettrificazione" della sintesi organica è già stata adottata da industrie chimiche per realizzare processi puliti. Gli strumenti che permettono lo studio e l'applicazione dell'elettrochimica si sono evoluti notevolmente, consentendo la definizione di procedure anche per la sintesi di principi attivi farmaceutici (API) e prodotti chimici di base. In particolare, recentemente sono stati compiuti enormi progressi riguardo lo sfruttamento dell'elettrochimica nella valorizzazione della biomassa. Nonostante questi importanti traguardi, il settore presenta ancora molte sfide, soprattutto se l'obiettivo è definire processi con il massimo livello

di sostenibilità. Il consumo degli elettrodi rappresenta un aspetto cruciale che incide sull'efficienza e sulla sostenibilità dell'elettrosintesi. Ad esempio, nel caso del processo Hall-Héroult che utilizza elettrodi non metallici per la fusione dell'alluminio, circa 400 kg di carbonio anodico vengono consumati per ogni tonnellata di alluminio prodotta. Quando gli elettrodi sono a base metallica, il loro costo e la loro preparazione diventano ancora più critici, e non è semplice generalizzare i dati relativi al loro consumo. Sebbene la ricerca di elettrodi durevoli e stabili sia molto attiva, maggiore enfasi dovrebbe essere posta sull'impiego di elettrodi realizzati a partire da materiali di scarto. Inoltre, la sintesi elettrochimica richiede additivi elettrolitici disciolti nel mezzo di reazione che consentano il passaggio degli elettroni in soluzione. Tali elettroliti sono generalmente specie non recuperabili e vengono impiegati in grandi quantità. Anche quando usati in quantità catalitiche, essi e i loro sottoprodotti formati durante la reazione devono essere separati dalla miscela di reazione finale. Gli elettroliti di supporto più comunemente usati sono i perclorati o i sali alogenuri di tetraalchilammonio, i quali richiedono lavaggi con acqua per la loro rimozione e devono infine essere trattati mediante incenerimento, un processo che comporta un'emissione significativa di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) nell'ambiente. Per rispondere a queste sfide cruciali di sostenibilità per l'elettrosintesi, è necessario sviluppare sistemi elettrolitici recuperabili, materiali elettrodici da materiali di scarto ed in generale ottimizzare processi più efficienti e produttivi.

## CONTATTI

**Referente progetto: Luigi Vaccaro**

**E-mail:** [luigi.vaccaro@unipg.it](mailto:luigi.vaccaro@unipg.it)

**Tel.:** 0755855541

**Sito web:** <https://greensoc.chm.unipg.it/>

**Francesco Ferlin**

**E-mail:** [francesco.ferlin@unipg.it](mailto:francesco.ferlin@unipg.it)



# DESTINO DEI BIOMATERIALI NEL TRATTAMENTO DEI RIFIUTI

## Valutazione della biodegradabilità di nuovi biopolimeri

Technology Readiness Level



Sostenibilità



Scalabilità



Approccio  
modulare



## RIFIUTI E BIOPOLIMERI: NUOVE SFIDE!

La crescente produzione di nuovi biopolimeri, sviluppati come alternative sostenibili alle plastiche tradizionali, richiede un'attenta valutazione del loro destino nel fine vita. In particolare, è fondamentale verificare l'effettiva biodegradabilità di questi materiali biobased, sia nel rispetto delle normative vigenti, sia in condizioni operative reali. Il servizio proposto offre una piattaforma di test in scala di laboratorio per analizzare la degradazione di biopolimeri in ambiente anaerobico e aerobico. Grazie all'utilizzo di protocolli specifici è possibile determinare il tasso di biodegradazione, la disintegrazione e la compostabilità dei materiali testati. Contestualmente, i trattamenti biologici sono monitorati attraverso analisi chimiche allo scopo di evitare fenomeni di inibizione dovuti all'eventuale presenza di bioplastiche. Il corretto trattamento è successivamente verificato attraverso una valutazione della qualità agronomica dei materiali organici finali.

AGRICOLTURA | AMBIENTE | ENERGIA



## Fine vita dei biopolimeri e sostenibilità ambientale



I biopolimeri di nuova generazione promettono soluzioni più sostenibili rispetto ai polimeri convenzionali, in particolare per quanto riguarda la gestione del fine vita. Tuttavia, la loro reale biodegradabilità dipende sia dalle loro caratteristiche chimico-fisiche che dalla gestione dei rifiuti, in particolare la frazione organica dei rifiuti solidi urbani. È quindi fondamentale verificare, attraverso protocolli standardizzati, come i biomateriali si comportano nei processi di trattamento a cui vengono sottoposti i rifiuti. Il servizio offerto prevede la realizzazione di test in scala di laboratorio per valutare la degradazione di biopolimeri in condizioni controllate di digestione anaerobica (ambiente mesofilo o termofilo, in base agli obiettivi sperimentali) e/o compostaggio simulato. Questo approccio modulare permette di replicare le condizioni operative degli impianti di trattamento della frazione organica dei rifiuti, consentendo il monitoraggio della biodegradazione del biomateriale. I test vengono eseguiti sulla base delle normative internazionali che stabiliscono i criteri per la biodegradazione in ambiente aerobico e anaerobico. Un aspetto fondamentale è la valutazione della disintegrazione, ovvero la capacità del materiale di frammentarsi in particelle non visibili e non riconoscibili nel prodotto finale. Questo parametro è particolarmente rilevante per verificare la completa degradazione del materiale testato. In parallelo sono eseguite analisi chimiche volte a valutare le performance dei processi biologici in termini di produzione di biogas, resa energetica e qualità agronomica del prodotto finale. Inoltre, a supporto delle prove specifiche di biodegradazione possono essere utilizzate tecniche di analisi gravimetrica, microscopia ottica, spettrofotometria e altre analisi chimico-fisiche per valutare la presenza di possibili inquinanti rilasciati durante la biodegradazione. L'infrastruttura sperimentale consente di controllare diverse variabili operative, quali temperatura, umidità, carico organico e tempi di residenza, permettendo così di simulare scenari specifici che si presentano in ambito industriale. L'approccio in

scala di laboratorio ha inoltre il vantaggio di testare diversi materiali in parallelo, riducendo significativamente i tempi di analisi. In un mercato sempre più orientato all'uso di materiali biodegradabili e compostabili, il servizio offerto rappresenta un passaggio chiave per dimostrare la sostenibilità dei processi di trattamento dei rifiuti. I risultati dei test sono utili al miglioramento dei trattamenti biologici dei rifiuti, ma anche allo sviluppo di nuovi biomateriali che siano performanti per il packaging alimentare garantendo allo stesso tempo la loro compatibilità ambientale. L'importanza del servizio offerto è legata alla valorizzazione dei prodotti biobased anche nel fine vita, allo scopo di massimizzare la produzione di energia rinnovabile e la qualità dei materiali organici da utilizzare in agricoltura come fertilizzanti.

Il servizio prevederà:

- (I) La valutazione dei biomateriali attraverso test di biodegradazione anaerobica e aerobica;
- (II) La scelta dei parametri di processo più idonei al processo di biodegradazione in relazione alle matrici iniziali selezionate;
- (III) Il monitoraggio dei processi biologici al fine di assicurare le condizioni ottimali per l'attività dei microrganismi;
- (IV) L'eventuale scalabilità e implementazione dei test eseguiti in laboratorio;
- (V) La valutazione della qualità agronomica dei prodotti finali dei processi di trattamento dei rifiuti con particolare attenzione alla presenza di inquinanti e residui della biodegradazione.

### CONTATTI

**Referente progetto: Daniela Pezzolla**

**E-mail:** [daniela.pezzolla@unipg.it](mailto:daniela.pezzolla@unipg.it)

**Tel.:** 0755853999

**Sito web:** <https://greensoc.chm.unipg.it/>

**Nicolò Montegiove**

**E-mail:** [nicolo.montegiove@unipg.it](mailto:nicolo.montegiove@unipg.it)



# NANOPARTICELLE BIOGENICHE PER UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE

Sintesi e valutazione degli effetti sulle piante e sugli organismi associati

Technology Readiness Level



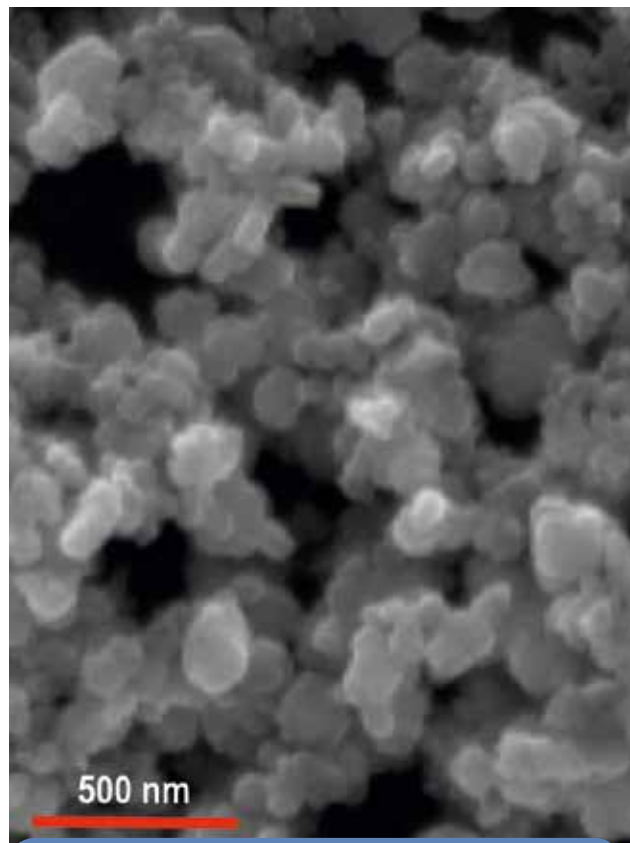
Sintesi  
ecosostenibile



Effetto  
biostimolante



Effetto sulle capacità  
di adesione degli insetti

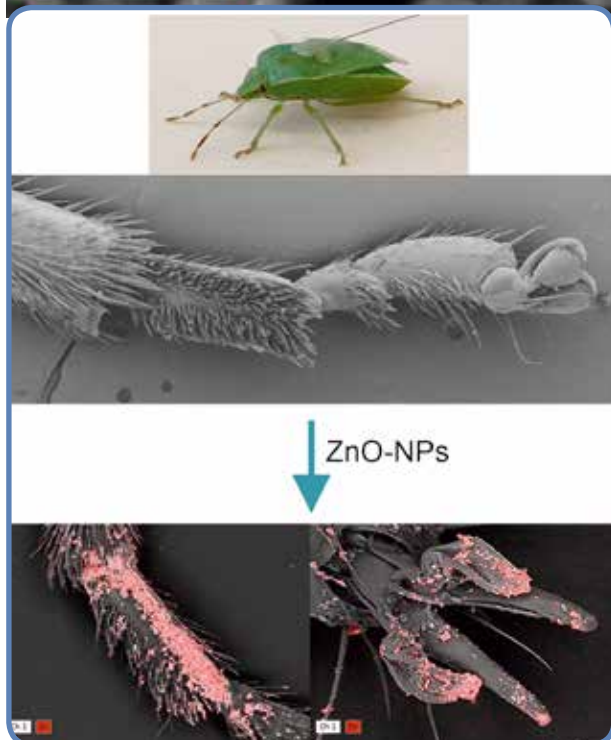


## AZIONE BIOSTIMOLANTE E DI DIFESA DA INSETTI E PATOGENI

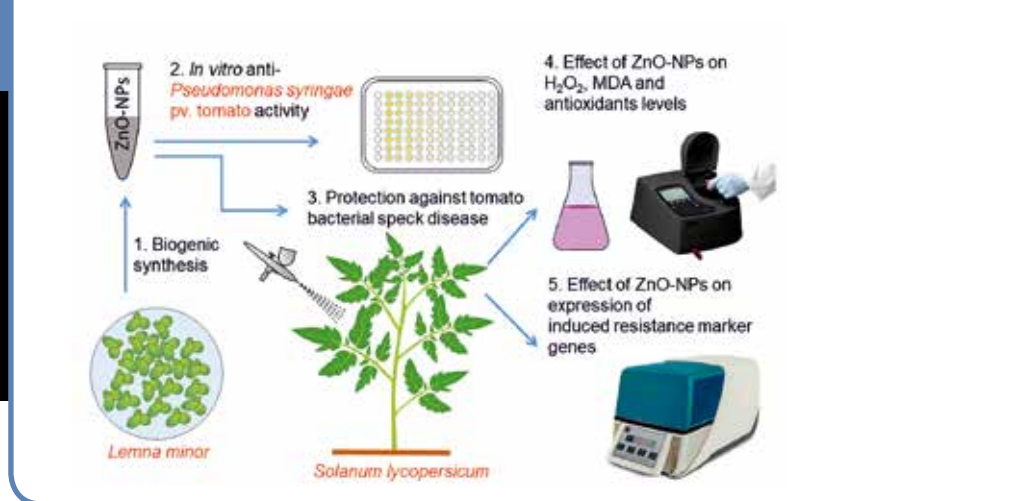
L'agricoltura convenzionale a causa dell'uso eccessivo di fertilizzanti di sintesi e di pesticidi ha effetti negativi sull'ambiente e sulla salute umana. Di conseguenza, è necessario sviluppare e adottare nuove metodologie per la realizzazione di soluzioni maggiormente eco-compatibili al fine di promuovere un'agricoltura sostenibile e basata sulla valorizzazione di materiali biologici di scarto o non utilizzati, ma ampiamente rinvenibili in natura.

In questo contesto, le nanotecnologie possono giocare un ruolo sempre più importante, dato che alcuni nanomateriali possono stimolare la crescita e la produttività delle piante, nonché la loro capacità di rispondere a stress abiotici e biotici. Inoltre, l'uso di nanomateriali può contribuire efficacemente alla riduzione degli input chimici, considerando che questi sono tra i maggiori responsabili dell'immissione nell'atmosfera di gas serra (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, ecc.).

Tra le possibili alternative ai prodotti convenzionalmente applicati in agricoltura, ci sono dei materiali nanostrutturati che possono presentare importanti micronutrienti per la pianta, quale le nanoparticelle (NPs) di ZnO. Una via particolarmente efficace per la sintesi top-down di questi nanostrutturati è quella biogenica che si basa sull'utilizzo di appropriati estratti vegetali che presentano un contenuto di metaboliti capaci di operare come agenti di capping. L'approccio biogenico consente inoltre di controllare forma e dimensione dei materiali nanostrutturati ottenuti.



# NANOPARTICELLE DI OSSIDO DI ZINCO PER MIGLIORARE LA PRODUTTIVITÀ E LA SALUTE DELLE PIANTE



Con un approccio multidisciplinare, che coinvolge ricercatori con diverse competenze (chimica agraria, entomologia, patologia vegetale, fisiologia e biochimica, microbiologia) si propongono delle soluzioni come possibile nuove opportunità per un'agricoltura sostenibile e a basso impatto ambientale. In dettaglio:

## 1. Sintesi biogenica di ZnO-NPs.

Gli estratti vegetali sono stati ottenuti da una specie acquatica invasiva. Uno screening metabolomico, condotto in precedenti studi, ha permesso di identificare tale pianta come una specie estremamente ricca di metaboliti, particolarmente idonei per la sintesi biogenica di ZnO-NPs.

## 2. Valutazione dell'effetto delle NPs sugli insetti dannosi.

Tramite esperimenti volti a misurare la forza di trazione degli insetti, osservazioni comportamentali e microscopia elettronica a scansione è stata dimostrata una riduzione della capacità di adesione di insetti fitofagi a substrati artificiali, indotta da trattamenti della superficie con film di nanoparticelle di ZnO. La maggiore riduzione della forza di adesione si è avuta alla concentrazione di 12.5 mg. Le osservazioni al SEM hanno mostrato come le nanoparticelle aderivano alle strutture delle zampe dell'insetto utili all'adesione sul substrato. Ancora in corso riguarderà la valutazione dell'azione di tali particelle sullo sviluppo e sulla mortalità di insetti fitofagi con apparato boccale masticatore che si nutrono di piante trattate con nanoparticelle di ZnO. Con le stesse piante, tramite test a scelta viene valutata la possibile induzione di difese dirette nei confronti del fitofago.

## 3. Valutazione dell'azione protettiva delle NPs contro batteri fitopatogeni.

È stata analizzata l'efficacia delle nanoparticelle di ZnO nella protezione delle piante di pomodoro nei confronti di pv. tomato (Pst), agente della picchiettatura batterica. Le nanoparticelle di ZnO hanno evidenziato una marcata attività antibatterica in vitro ( $= 17,0 \pm 1,1$  ppm) nei confronti del patogeno. Inoltre, applicate per via fogliare alla concentrazione di 100 ppm, sia prima che dopo l'inoculazione con Pst,

hanno determinato una significativa riduzione della gravità dei sintomi e della crescita batterica nella pianta, con risultati paragonabili a quelli ottenuti con l'acibenzolar-5-metile, un induttore delle difese vegetali. L'analisi dell'espressione genica tramite qPCR ha mostrato l'attivazione della via della resistenza sistemica acquisita (SAR) le nanoparticelle di ZnO hanno stimolato la sintesi di metaboliti implicati nella risposta allo stress ossidativo (come carotenoidi e fenoli), senza alterare i livelli di flavonoidi e antociani.

## 4. Valutazione degli effetti delle ZnO-NPs sul microbiota delle foglie trattate

Le piante sono state sottoposte a trattamenti con spray contenenti NPs, e la composizione del microbiota fogliare è stata analizzata in confronto a quella di piante non trattate, con l'obiettivo di individuare eventuali interferenze delle NPs sulla comunità microbica associata. In particolare è stato estratto il DNA totale delle foglie trattate e non trattate e mediante amplificazione di geni target per batteri e funghi e successivo sequenziamento Illumina, sarà possibile comparare i microbiomi ed evidenziare eventuali variazioni delle foglie trattate. Questa valutazione permetterà di capire se le NPs influenzano la comunità microbica della foglia e le conseguenze che tale interazione può avere per la pianta.

## 5. Valutazione dell'effetto delle NPs sui tratti biochimici e sulla risposta di difesa delle piante.

Nanoparticelle di ZnO somministrate a piante di zuccino (*Cucurbita pepo*) hanno evidenziato effetti sul contenuto di clorofille e carotenoidi, sullo stress ossidativo e sull'espressione di alcuni geni associati alla difesa che coinvolgono ormoni come l'acido salicilico e jasmonico.

## CONTATTI

Referente progetto: Gianandrea Salerno

E-mail: gianandrea.salerno@unipg.it

Tel.: 075 585 6034



# BIOMATERIALI CON CELLULE STAMINALI ADULTE: UNA PIATTAFORMA BIOMEDICA PER LA MEDICINA RIGENERATIVA

Sviluppo di prototipi per ingegneria tissutale

Technology Readiness Level



Bioattività



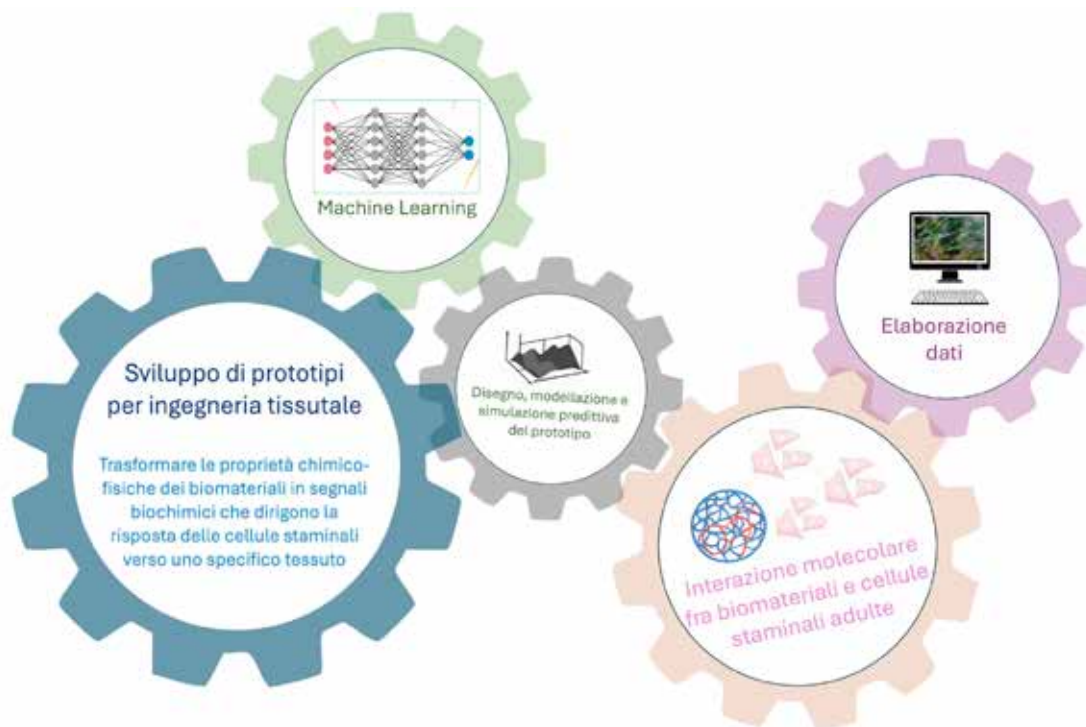
Biocompatibilità  
cellulare



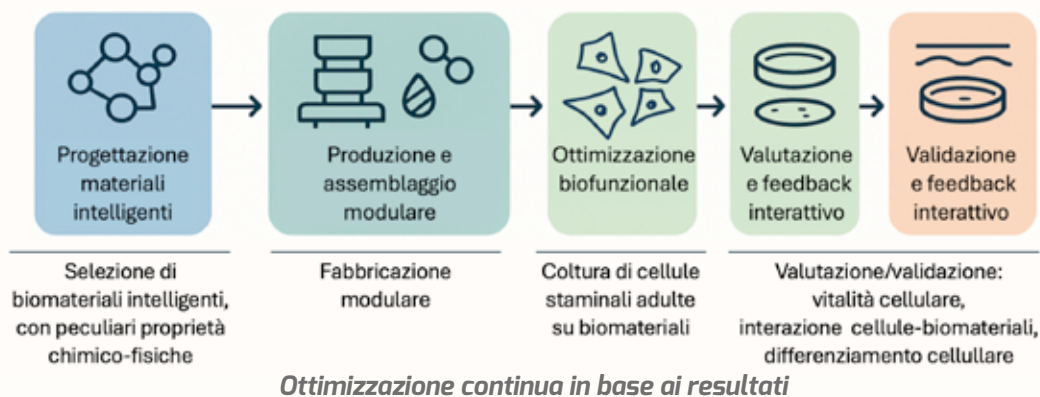
Stimolazione  
della  
rigenerazione



Supporto AI  
all'ottimizzazione



## Piattaforma modulare bioibrida per ingegneria tissutale

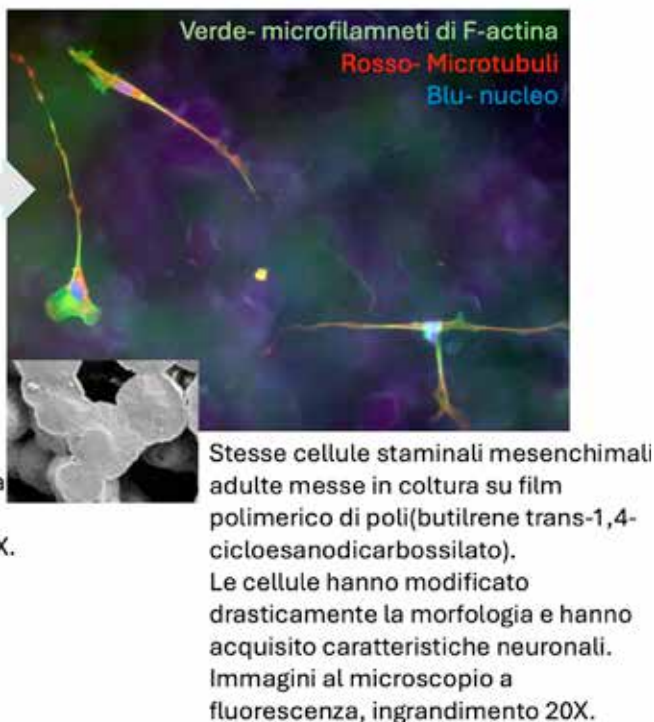
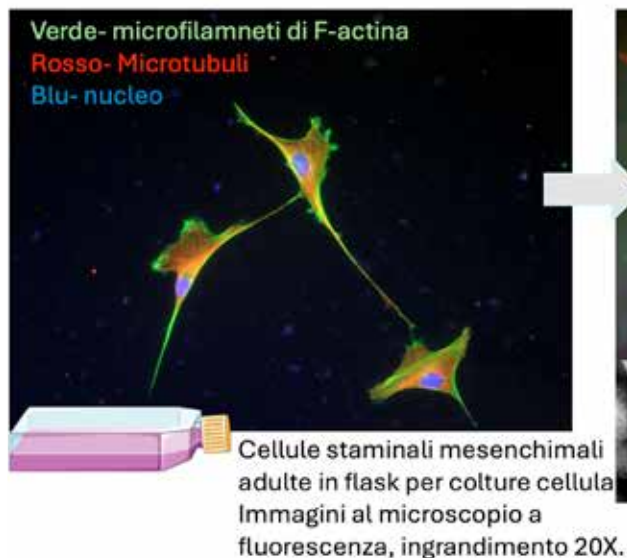


## DOVE LE CELLULE STAMINALI ADULTE INCONTRANO L'INGEGNO DEI BIOMATERIALI AVANZATI

La piattaforma sviluppata si propone di combinare biomateriali e cellule staminali adulte per dare vita a prototipi bioibridi versatili e innovativi, finalizzati alla rigenerazione di tessuti danneggiati. Il progetto include biomateriali progettati per imitare l'architettura dei tessuti naturali, e fornire un microam-

biente in grado di supportare la vitalità e il processo di differenziazione delle cellule staminali. Inoltre, grazie all'introduzione di tecniche di intelligenza artificiale, la piattaforma evolve in un sistema adattivo e predittivo, capace di apprendere e ottimizzarsi in base ai dati biologici raccolti.





La piattaforma “Biomateriali e Cellule Staminali” è un sistema modulare sviluppato per sviluppare prototipi per l'ingegneria tissutale attraverso l'integrazione sinergica tra biomateriali bioattivi, cellule staminali umane adulte e tecnologie AI avanzate, e offrire una soluzione avanzata e personalizzabile in medicina rigenerativa.

La sua struttura si articola su tre moduli funzionali:

1. Progettazione computazionale di biomateriali intelligenti a partire da biopolimeri sintetici o naturali;
2. Integrazione e coltura con cellule staminali;
3. Validazione funzionale del prototipo attraverso la valutazione della risposta cellulare ai biomateriali (analisi: morfometriche con microscopia avanzata; della meccanica cellulare; geniche e proteomiche).

L'elemento chiave di questo approccio è la meccanotrasduzione, un processo attraverso il quale le cellule percepiscono e traducono stimoli chimico-fisici provenienti dal materiale nelle risposte biochimiche che regolano le attività metaboliche delle cellule. Studi recenti, inclusi in questo progetto, mostrano che parametri come la rigidità superficiale, la topografia e l'idrofobicità influenzano profondamente il destino delle cellule indirizzandole verso una specifica funzione o specializzazione.

Per migliorare ulteriormente le performance e ridurre i tempi di ottimizzazione, la piattaforma integra in modo non invasivo strumenti di intelligenza artificiale. Quest'ultima non sostituisce il proces-

so sperimentale ma lo affianca, contribuendo alla costruzione di una libreria predittiva di materiali e condizioni cellulari utile per l'espansione futura del sistema. In prospettiva, la piattaforma potrà auto-apprendere: ogni nuova iterazione, ogni esperimento, ogni risposta cellulare contribuirà ad arricchire la banca dati su cui l'AI opera. Questo renderà il sistema non solo replicabile, ma scalabile, adattabile e sempre più preciso, anche su scala industriale. Oltre alle applicazioni terapeutiche, la piattaforma ha un impatto anche su scala educativa e industriale. L'uso di biopolimeri derivati da materiali di scarto (e.g. biomasse), selezionati e ottimizzati con AI, consentirà oltre alla realizzazione di prototipi tissutali intelligenti, contribuirà alla formazione multidisciplinare di giovani ricercatori per le moderne industrie biotecnologiche del settore. In sintesi, la piattaforma rappresenta un modello avanzato ma concreto di ingegneria tissutale adattabile, dove biomateriali e cellule restano protagonisti, mentre l'AI svolge un ruolo di supporto intelligente alla ricerca e sviluppo.

### CONTATTI

**Referente progetto: Sabata Martino**

**E-mail:** [sabata.martino@unipg.it](mailto:sabata.martino@unipg.it)

**Francesco Morena**

**E-mail:** [francesco.morena@unipg.it](mailto:francesco.morena@unipg.it)

**Tel.:** 0755857442



# MODELLAZIONE MECCANICA ALEATORIA MULTISCALE DEL GRAFENE

Per garantire prestazioni meccaniche affidabili e prevedibili nei materiali e dispositivi in grafene

**3**  
Technology Readiness Level



Affidabilità  
predittiva



Approccio  
multiscala

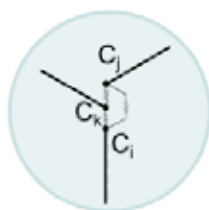
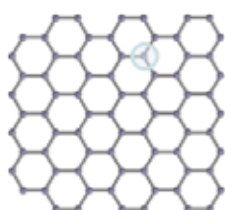


Gestione  
dell'incertezza



Flessibilità  
applicativa

## GRAFENE – MODELLAZIONE MECCANICA



ALEATORIETA' DEI DIFETTI



## APPROCCIO PROBABILISTICO



## AI/MACHINE LEARNING



## APPLICAZIONI



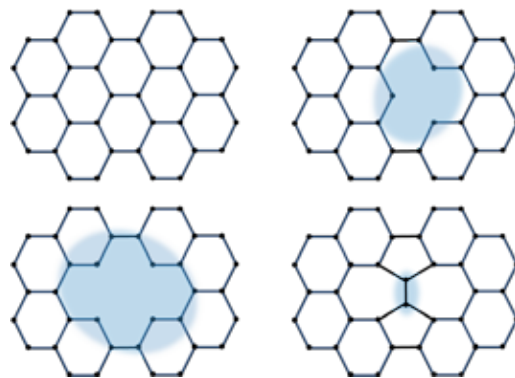
## STUDIO QUANTITATIVO DEL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL GRAFENE SU SCALA ATOMICA E MACROSCOPICA

L'attività si focalizza sull'analisi e la modellazione del comportamento meccanico del grafene e di nanomateriali 2D, con particolare attenzione ai difetti e alle incertezze presenti a livello micro e nano-strutturale. Attraverso simulazioni AFEM (Atomistic Finite Element Method), vengono studiate le proprietà meccaniche del grafene e dei compositi a base di grafene su scala atomica e macroscopica. L'approccio aleatorio multiscala consente di considerare le incertezze legate alla presenza di difetti geometrici e alla variabilità delle caratteristiche dei materiali, fornendo valutazioni realistiche e affidabili, fondamentali per la progettazione e l'ottimizzazione

di dispositivi avanzati. Questa metodologia risulta particolarmente preziosa data la difficoltà di effettuare sperimentazioni meccaniche a livello atomico sul grafene, permettendo così di integrare dati simulativi e modelli stocastici per una caratterizzazione completa. Il servizio comprende consulenza scientifica e tecnica, supporto nella progettazione sperimentale, interpretazione dei risultati e valutazione dell'impatto dei difetti sulle prestazioni. I principali destinatari sono centri di ricerca, università e aziende operanti nei settori dei materiali 2D, optoelettronica, sensori, coating, nonché laboratori di controllo qualità e sviluppo prodotto.



## DALL'ATOMO ALL'APPLICAZIONE: MODELLAZIONE ALEATORIA MULTISCALE E AI PER LA MECCANICA DEI MATERIALI 2D



L'attività si concentra sull'analisi e sulla modellazione del comportamento meccanico del grafene e di materiali bidimensionali affini, con un'attenzione specifica agli effetti dei difetti geometrici e alle incertezze presenti alla scala atomica. Questi materiali, grazie alle eccezionali proprietà meccaniche, elettroniche e termiche, rappresentano una frontiera innovativa per molte applicazioni, dai dispositivi elettronici flessibili ai materiali compositi avanzati. Tuttavia, difetti come dislocazioni, vacanze atomiche e imperfezioni geometriche influenzano significativamente le prestazioni meccaniche e la stabilità. Prevedere e quantificare l'impatto di tali difetti è cruciale per una progettazione affidabile e ottimizzata.

Attraverso simulazioni AFEM (Atomistic Finite Element Method), si analizzano le proprietà meccaniche del grafene e dei compositi a base di grafene, collegando il comportamento atomico alle risposte macroscopiche, fondamentali per applicazioni pratiche. Questo approccio multiscale integra i principi della meccanica strutturale molecolare (molecular structural mechanics), rappresentando i legami atomici tramite elementi strutturali equivalenti compatibili con i metodi agli elementi finiti.

Un aspetto chiave dell'analisi riguarda il size effect, ovvero la dipendenza delle proprietà meccaniche dalla scala, particolarmente marcata nei materiali 2D come il grafene. La modellazione multiscale descrive fenomeni come variazioni di rigidità, capacità di deformazione e influenza dei difetti in funzione delle dimensioni di campioni e dispositivi, elemento critico per i dispositivi alla nanoscala, dove emergono comportamenti non lineari e di superficie.

L'approccio probabilistico integrato consente di considerare le incertezze legate a difetti geometrici, la variabilità dei parametri materiali e fenomeni di interfaccia, fornendo valutazioni realistiche e affidabili. Tali incertezze derivano da processi di sintesi, da condizioni ambientali e dalla natura stessa dei materiali 2D, spesso soggetti a variabilità significativa a scala nanometrica. La modellazione aleatoria quantifica queste variabilità, offrendo previsioni più accurate rispetto ai modelli deterministici tradizionali.

Questo è fondamentale per stimare margini di sicurezza, affidabilità e durabilità, e per progettare dispositivi avanzati.

A complemento di questi strumenti, vengono utilizzati modelli predittivi basati su algoritmi di machine learning. I dati provenienti dalle simulazioni e da eventuali evidenze sperimentali alimentano modelli di apprendimento automatico supervisionato e non supervisionato, in grado di individuare pattern nascosti, correlazioni non lineari e tendenze nei dati complessi. Il machine learning accelera i tempi di previsione e ottimizzazione e permette di esplorare configurazioni e parametri non ancora testati, contribuendo alla scoperta di nuovi materiali e applicazioni. La sinergia tra modellazione fisica e intelligenza artificiale apre nuove prospettive per il design di materiali avanzati e la gestione delle incertezze.

Il servizio offerto comprende consulenza scientifica e tecnica specializzata, supporto nella progettazione sperimentale, raccolta e interpretazione dei dati, valutazione dell'impatto dei difetti sulle prestazioni meccaniche. Viene inoltre fornito supporto per la redazione di report tecnici e pubblicazioni scientifiche, assicurando una comunicazione efficace dei risultati e un sostegno completo per attività di ricerca e sviluppo.

I principali destinatari del servizio sono centri di ricerca, università e aziende attive nei settori dei materiali 2D, optoelettronica, sensori, coating e materiali compositi, oltre a laboratori dedicati al controllo qualità e sviluppo prodotto. Grazie all'approccio integrato, all'uso di tecniche avanzate di simulazione e machine learning, e alla gestione accurata delle incertezze, il servizio si propone come risorsa strategica per accelerare il trasferimento tecnologico.

### CONTATTI

**Referente progetto: Massimiliano Gioffre**  
**E-mail:** [massimiliano.gioffre@unipg.it](mailto:massimiliano.gioffre@unipg.it)  
**Tel.:** 0755853902



# MALTE PER IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE ESISTENTI ARRICCHITE CON NANOMATERIALI

Compositi a base di fibre vegetali funzionalizzate con nanomateriali

Technology Readiness Level



Sostenibilità



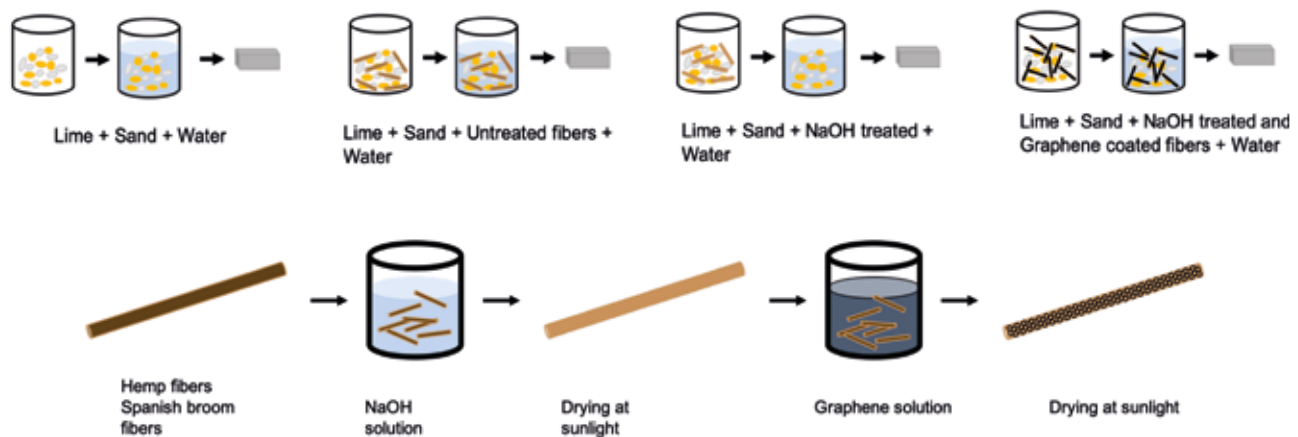
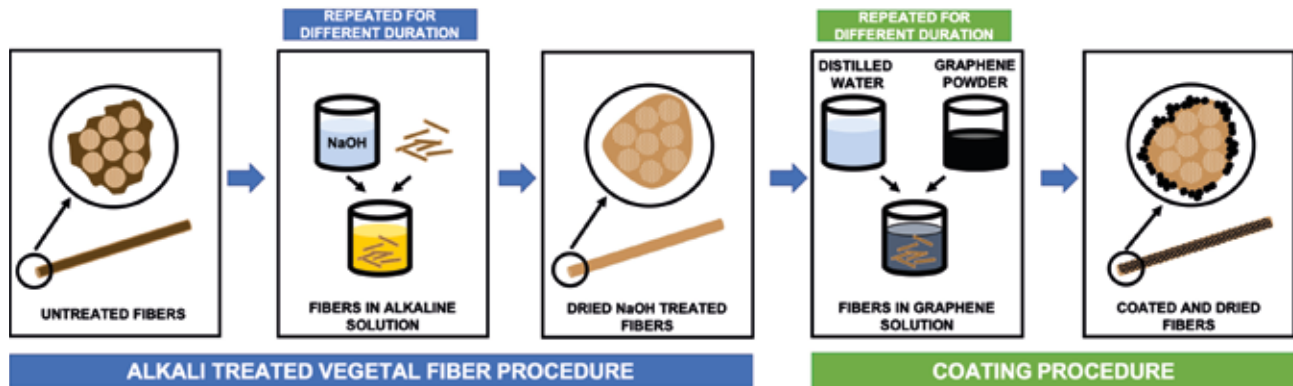
Compatibilità chimico-fisica



Durabilità



Reversibilità



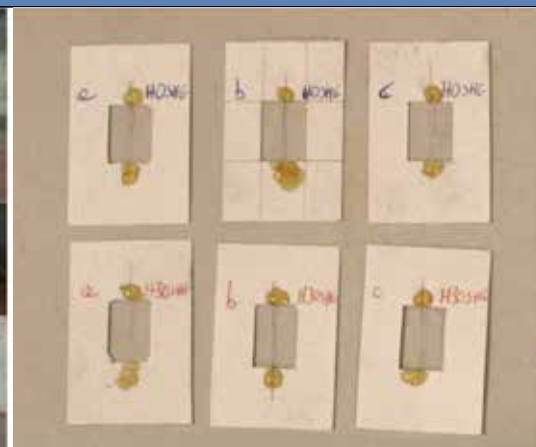
## MALTE PER IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO: LA SCIENZA DEI NANOMATERIALI AL SERVIZIO DELLA CONSERVAZIONE

Le malte sviluppate per il consolidamento di strutture storiche integrano approcci tradizionali con l'ingegnerizzazione di materiali avanzati su scala nanostrutturale. Le formulazioni si basano su matrici compatibili con i substrati storici, arricchite con fibre vegetali (canapa, ginestra) sottoposte a funzionalizzazione superficiale tramite deposizione controllata di nanomateriali – in particolare grafene. L'interazione sinergica tra la matrice e le fibre funzionalizzate consente un incremento significativo delle proprietà meccaniche, garantendo al contempo compatibilità chimico-fisica e adeguata traspirabilità, fattori essenziali per il restauro conservativo.

La presenza delle fibre trattate consente un'azione di "bridging" delle microfessure e migliora la coesione della malta, riducendo i fenomeni di cracking. I rivestimenti nanometrici, oltre a favorire una migliore interfaccia fibra-matrice, conferiscono proprietà idrofobiche controllate e aumentano la durabilità del sistema in condizioni ambientali critiche (umidità, cicli termici, attacchi biologici). Progettate per interventi compatibili e reversibili su elementi storici in muratura, queste malte costituiscono una soluzione avanzata e sostenibile per la conservazione strutturale, combinando l'efficacia meccanica con il rispetto dei vincoli conservativi e delle normative per il patrimonio culturale.



## INNOVAZIONE SOSTENIBILE PER IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE: MALTE NANOFUNZIONALIZZATE PER LA CONSERVAZIONE DELLE STRUTTURE STORICHE



La conservazione e il consolidamento delle strutture storiche rappresentano una sfida cruciale per il patrimonio culturale mondiale. L'impiego di materiali tradizionali spesso si scontra con esigenze di durabilità, compatibilità e sostenibilità, soprattutto quando si interviene su edifici antichi soggetti a processi di degrado complessi e variabili. In questo contesto, l'innovazione tecnologica ha portato allo sviluppo di malte avanzate, in grado di coniugare il rispetto per le tecniche tradizionali con le potenzialità offerte dai nanomateriali e dalle fibre naturali.

Le malte per il consolidamento proposte si basano su matrici minerali tradizionali, arricchite con fibre vegetali di canapa e ginestra, opportunamente funzionalizzate con rivestimenti a base di grafene. Questa combinazione sinergica permette di superare i limiti delle malte tradizionali, migliorando in modo significativo le proprietà meccaniche e fisico-chimiche del materiale, senza compromettere la traspirabilità e la compatibilità con i substrati storici. Tale equilibrio tra innovazione e tradizione è fondamentale per garantire interventi rispettosi e duraturi nel tempo.

La funzionalizzazione delle fibre vegetali tramite nanomateriali consente di migliorare l'adesione tra fibra e matrice, aumentando la coesione interna della malta e la capacità di resistere alle sollecitazioni meccaniche e ambientali. Il grafene, grazie alla sua elevata resistenza meccanica e alle proprietà idrofobiche, contribuisce a creare una barriera protettiva che limita la penetrazione dell'umidità e rallenta i processi di degrado, e a modificare il comportamento meccanico del composito. Un aspetto fondamentale di queste malte è la capacità di controllare la formazione e la propagazione delle microfessure attraverso un effetto "bridging" delle fibre nanofunzionalizzate. Questa caratteristica è cruciale per garantire la durabilità dell'intervento di consolidamento e per preservare l'integrità strut-

turale nel tempo, minimizzando il rischio di danni ulteriori. Inoltre, l'impiego di fibre naturali rende l'intervento eco-compatibile e in linea con i principi di sostenibilità, sempre più richiesti nelle pratiche di restauro conservativo. La reversibilità e la compatibilità chimica e meccanica con i materiali storici sono ulteriori vantaggi di questa tecnologia, che la rendono ideale per interventi su edifici monumentali, murature antiche, intonaci storici e superfici decorate. Le malte consentono infatti un consolidamento efficace senza alterare le caratteristiche originali delle strutture, rispettando le normative vigenti e le buone pratiche del restauro. Questo approccio assicura che ogni intervento possa essere valutato e, se necessario, modificato o rimosso in futuro, salvaguardando il valore storico e artistico. L'adozione di queste malte rappresenta un passo avanti significativo nella tutela del patrimonio architettonico, offrendo una soluzione avanzata, sostenibile e altamente performante.

Il servizio comprende consulenza tecnica e scientifica per la selezione della formulazione più adatta, supporto nella progettazione dell'intervento e monitoraggio dei risultati, con l'obiettivo di garantire la massima efficacia e sicurezza nel restauro. Viene inoltre offerto un servizio personalizzato per l'analisi preliminare delle condizioni delle superfici da consolidare e per la valutazione degli effetti a lungo termine, basato su test sperimentali e modelli predittivi.

### CONTATTI

Referente progetto: **Massimiliano Giofrè**  
E-mail: [massimiliano.gioffre@unipg.it](mailto:massimiliano.gioffre@unipg.it)  
Tel.: 0755853902



# SCANSIONE 3D E REVERSE ENGINEERING: LA TECNOLOGIA CHE RICOSTRUISCE IL FUTURO

Per il controllo qualità, protesi su misura, virtualizzazione di oggetti storici e prototipazione avanzata

Technology Readiness Level



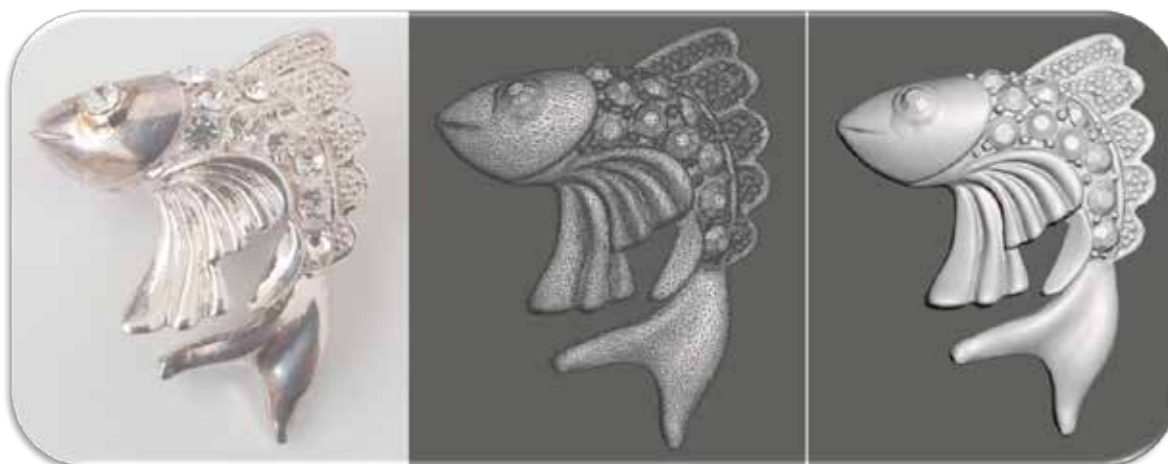
Versatilità



Riproduzione  
virtuale e fisica



Approccio  
multiscala



## OGNI FORMA, OGNI DETTAGLIO, OGNI SETTORE: TUTTO IN 3D

Il servizio consiste nella digitalizzazione tramite scanner ottici 3D e software dedicati per la ricostruzione virtuale di oggetti di qualsiasi natura: componenti meccanici, biomeccanici, manufatti artistici, reperti archeologici, parti del corpo umano, alimenti e molto altro. Le applicazioni sono molteplici:

- Industria meccanica e biomeccanica: controllo qualità, reverse engineering, riprogettazione, ottimizzazione, prototipazione rapida e catalogazione tecnica.
- Settore medicale: creazione di protesi personalizzate attraverso la scansione accurata delle parti anatomiche.
- Beni culturali: documentazione dello stato di conservazione, creazione di cataloghi digitali, musei virtuali e integrazione con tecnologie di realtà aumentata e virtuale.
- Riproduzione fisica: grazie alla prototipazione rapida e alla stampa 3D, è possibile ricostruire fisicamente qualsiasi oggetto in diversi materiali partendo dal modello digitale.

Il nostro servizio consente una replica digitale ad alta precisione, utile per analisi, conservazione, comunicazione scientifica e sviluppo industriale.



AGRICOLTURA | INDUSTRIA ALIMENTARE | INDUSTRIA CHIMICA | INDUSTRIA TESSILE/SANITÀ  
EDILIZIA | AMBIENTE | ELETTRONICA | ENERGIA | COSMETICA | INDUSTRIA MECCANICA  
INFRASTRUTTURE | ARTE | ARCHITETTURA | ARCHEOLOGIA

## DIGITALIZZIAMO IL MONDO, UN OGGETTO ALLA VOLTA!

Il servizio riguarda l'applicazione di scanner ottici 3D ad alta precisione e accuratezza, affiancati da software specializzati, per la ricostruzione tridimensionale virtuale di oggetti appartenenti a molteplici ambiti: componenti meccanici e biomeccanici, manufatti artistici, reperti archeologici, parti del corpo umano, alimenti e qualunque altro oggetto di interesse. Grazie a questa tecnologia all'avanguardia, è possibile ottenere modelli digitali estremamente dettagliati, utili per numerose finalità in settori industriali, scientifici, medici e culturali. Nel contesto della meccanica e biomeccanica, la scansione 3D permette di ricreare digitalmente parti complesse come ingranaggi, alberi motore, componenti di macchinari industriali, protesi ortopediche o dispositivi medicali. I modelli ottenuti possono essere utilizzati per il controllo qualità dimensionale, individuando anche minime deviazioni rispetto ai progetti originali. Inoltre, sono strumenti fondamentali per il reverse engineering, utile in caso di assenza di documentazione tecnica, con l'obiettivo di riprogettare, ottimizzare o produrre ricambi per pezzi obsoleti o danneggiati. È possibile anche creare archivi digitali delle geometrie per finalità di catalogazione e gestione delle versioni progettuali. Nel settore biomeccanico, ad esempio, è possibile scansionare un tutore ortopedico personalizzato o una componente protesica, per valutarne il corretto posizionamento, migliorarne l'ergonomia o replicarlo in modo fedele attraverso tecnologie additive. Per quanto riguarda la scansione del corpo umano, questa tecnologia rappresenta un potente strumento per la realizzazione di protesi personalizzate, soprattutto in ambito ortopedico, permettendo di ottenere una perfetta aderenza alle caratteristiche morfologiche individuali. La scansione 3D può essere applicata anche nel settore dell'abbigliamento tecnico su misura, come tute protettive o divise ergonomiche, attraverso il rilievo della fisionomia in modo rapido e preciso. Nel campo dei beni culturali e archeologici, la scansione 3D consente la digitalizzazione di statue, affreschi, bassorilievi, ceramiche, utensili, reperti litici o ossei, offrendo uno strumento potente per lo studio, la catalogazione e la conservazione. È possibile, ad esempio, ricostruire virtualmente un fram-



mento archeologico per comprenderne la forma originale, oppure monitorare nel tempo il degrado di una scultura lignea. I modelli digitali ottenuti possono essere integrati in musei virtuali, cataloghi interattivi, ricostruzioni immersive in realtà aumentata o virtuale, rendendo il patrimonio accessibile anche a distanza e favorendo la valorizzazione a fini educativi e divulgativi. Le repliche fisiche stampate in 3D, realizzate in vari materiali, possono essere utilizzate per esposizioni tattili dedicate a persone ipovedenti o per mostre itineranti. Anche nel settore alimentare e agroindustriale, la scansione 3D può essere impiegata per analizzare la morfologia di frutti, verdure, prodotti trasformati o impasti, con finalità di ricerca e sviluppo, controllo qualità o packaging personalizzato. Ad esempio, è possibile confrontare l'evoluzione dimensionale di una forma di pane o monitorare la deformazione di un alimento sottoposto a stress termici. In tutti questi casi, il modello 3D virtuale ottenuto può essere utilizzato non solo a scopo analitico, ma anche per la riproduzione fisica dell'oggetto tramite tecnologie di prototipazione rapida e stampa 3D, impiegando diversi materiali. Ciò consente di realizzare repliche fedeli, prototipi funzionali, modelli per test ingegneristici o copie per esposizione e studio, anche in scala differente rispetto all'originale. Il servizio si rivolge a aziende manifatturiere, studi di progettazione, laboratori di ricerca, strutture sanitarie, centri di restauro, musei, università e a tutti coloro che necessitano di una digitalizzazione 3D, accurata, affidabile e integrabile nei propri flussi di lavoro.

### CONTATTI

Referente progetto: **Silvia Logozzo**

E-mail: [silvia.logozzo@unipg.it](mailto:silvia.logozzo@unipg.it)

Tel.: 0755853824



# ANALISI DELL'USURA TRAMITE TECNOLOGIE DIGITALI 3D E MICROSCOPI DIGITALI



Applicazioni a componenti meccanici, bio-meccanici e infrastrutture

Technology Readiness Level



Versatilità



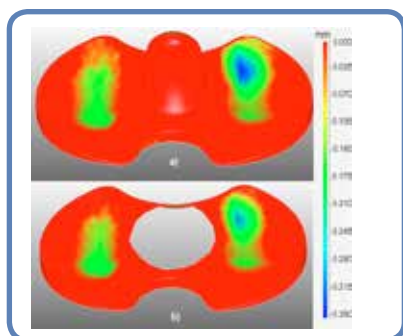
Tecnologicamente avanzato



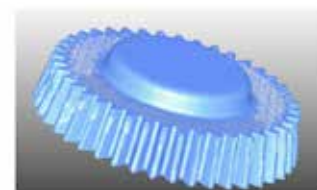
Informativo



Trasversale e adatto a vari settori

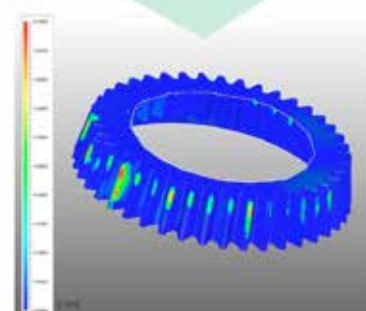


a) 3D REFERENCE MODEL

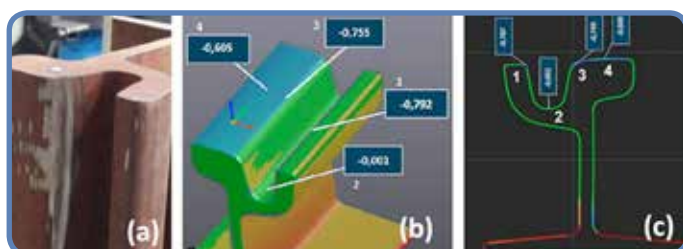


b) 3D WORN MODEL

ALIGNMENT & BEST FIT



c) 3D WEAR MAP



## NUOVE SFIDE PER L'ANALISI DELL'USURA E DEL DANNEGGIAMENTO!

L'usura rappresenta una criticità rilevante in ambito meccanico, clinico e infrastrutturale, incidendo direttamente sull'affidabilità, la sicurezza e la durata di componenti e dispositivi. Dai sistemi meccanici alle protesi mediche, fino alle infrastrutture ferroviarie, i fenomeni di danneggiamento con asportazione di materiale richiedono un'attenta analisi per prevenirne le conseguenze e migliorarne le prestazioni.

Il servizio si propone di approfondire la conoscenza di questi fenomeni attraverso l'utilizzo integrato di tecnologie di scansione ottica 3D e microscopi digitali ad alta risoluzione. Questi strumenti consentono di effettuare misure dettagliate e ad alta precisione sia su scala macroscopica che microscopica, fornendo una caratterizzazione completa delle superfici usurate.

Grazie allo sviluppo di procedure sperimentali dedicate, è possibile ottenere:

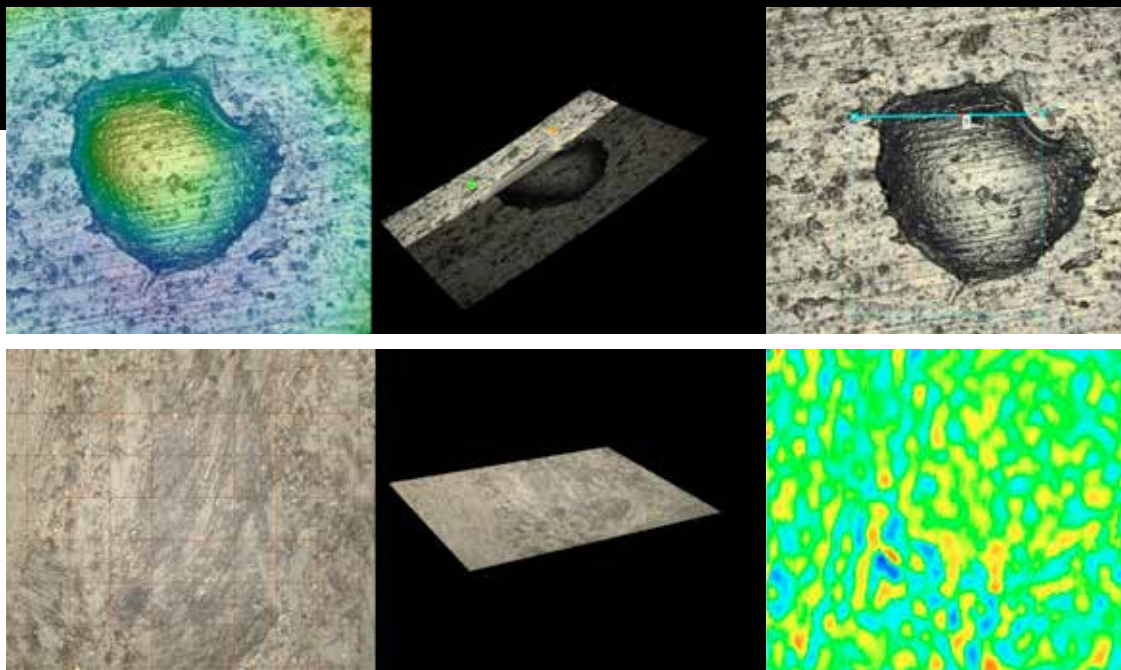
- Mappe tridimensionali della perdita di materiale;
  - Immagini e misurazioni al microscopio digitale per evidenziare microfratture, segni di attrito e morfologie di usura;
  - Dati quantitativi affidabili, ripetibili e non distruttivi.
- Queste tecniche avanzate consentono:
- l'individuazione precoce di difetti e guasti;
  - l'ottimizzazione dei cicli di manutenzione;
  - la validazione di materiali e soluzioni progettuali innovative.

Attraverso l'applicazione di dispositivi e software di ultima generazione, mettiamo a disposizione un servizio altamente specializzato per la valutazione e la gestione dell'usura, con applicazioni trasversali in ambito industriale, biomedico e infrastrutturale.



AGRICOLTURA | AMBIENTE | COSMETICA | EDILIZIA: ELETTRONICA | ENERGIA | INDUSTRIA CHIMICA  
INDUSTRIA ALIMENTARE | INDUSTRIA TESSILE | SANITÀ | INDUSTRIA MECCANICA

## QUANTIFICARE CON PRECISIONE LA PERDITA DI MATERIALE PER USURA E LA DISTRIBUZIONE TRIDIMENSIONALE



La capacità di quantificare in modo accurato la perdita di materiale e di comprenderne la distribuzione spaziale rappresenta uno degli aspetti più critici e al tempo stesso strategici nell'analisi dei fenomeni di usura. Questo tipo di misurazione è fondamentale non solo per valutare lo stato di degrado di un componente, ma anche per trarre informazioni utili su cause, modalità e meccanismi alla base del danneggiamento. Tradizionalmente, la perdita di materiale veniva stimata tramite tecniche indirette, come la misurazione del peso prima e dopo il test (metodo gravimetrico), oppure con strumenti di contatto come profilometri meccanici. Questi approcci, sebbene ancora diffusi, presentano limiti importanti:

- Mancanza di dettaglio spaziale: non permettono di localizzare dove e come la perdita di materiale si distribuisca sulla superficie.

- Invasività o contatto: in alcuni casi, gli strumenti stessi possono alterare le superfici analizzate.

- Mancanza di informazioni reali della densità e quindi difficoltà nel ricavare i volumi asportati.

Il nostro servizio si basa sull'utilizzo di tecnologie di scansione 3D senza contatto, capaci di acquisire con altissima risoluzione la geometria delle superfici, generando una nuvola di punti o un modello tridimensionale che descrive in modo completo la topografia del componente analizzato. Attraverso il confronto tra la superficie nuova o iniziale (di riferimento), la superficie dopo l'esercizio o il danneggiamento è possibile misurare: il volume totale di

materiale rimosso, la profondità massima e media dell'usura, la distribuzione spaziale della perdita su tutta la superficie. Questi dati sono rappresentabili sotto forma di mappe cromatiche, sezioni e grafici, facilmente leggibili anche da personale non tecnico, e possono essere esportati per ulteriori elaborazioni o archiviazione. La distribuzione dell'usura fornisce indizi cruciali sul tipo di sollecitazione (ad esempio abrasione, fatica da contatto, cavitazione), sull'effetto di difetti geometrici o di allineamento e sul comportamento in esercizio (es. zone di carico concentrate o movimenti anomali). Conoscere la distribuzione permette di validare progetti, ottimizzare il design, intervenire sul processo produttivo o regolare le condizioni operative. La quantificazione precisa della perdita di materiale e della sua distribuzione non è solo una misura tecnica: è uno strumento diagnostico, predittivo e decisionale. Il nostro servizio consente di trasformare un dato fisico in un'informazione strategica, in grado di guidare interventi correttivi, miglioramenti progettuali e politiche di manutenzione basate sull'evidenza.

### CONTATTI

Referente progetto: **Maria Cristina Valigi**

E-mail: [mariacristina.valigi@unipg.it](mailto:mariacristina.valigi@unipg.it)

Tel.: 0755853824



# NANO IDROSSIDI DOPPI STRATIFICATI (LDHs) COME ADDITIVI PER INCREMENTARE LA SOSTENIBILITÀ DEI CEMENTI

Nano-LDH per cementi più durevoli e resistenti agli ioni aggressivi ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )

Technology Readiness Level



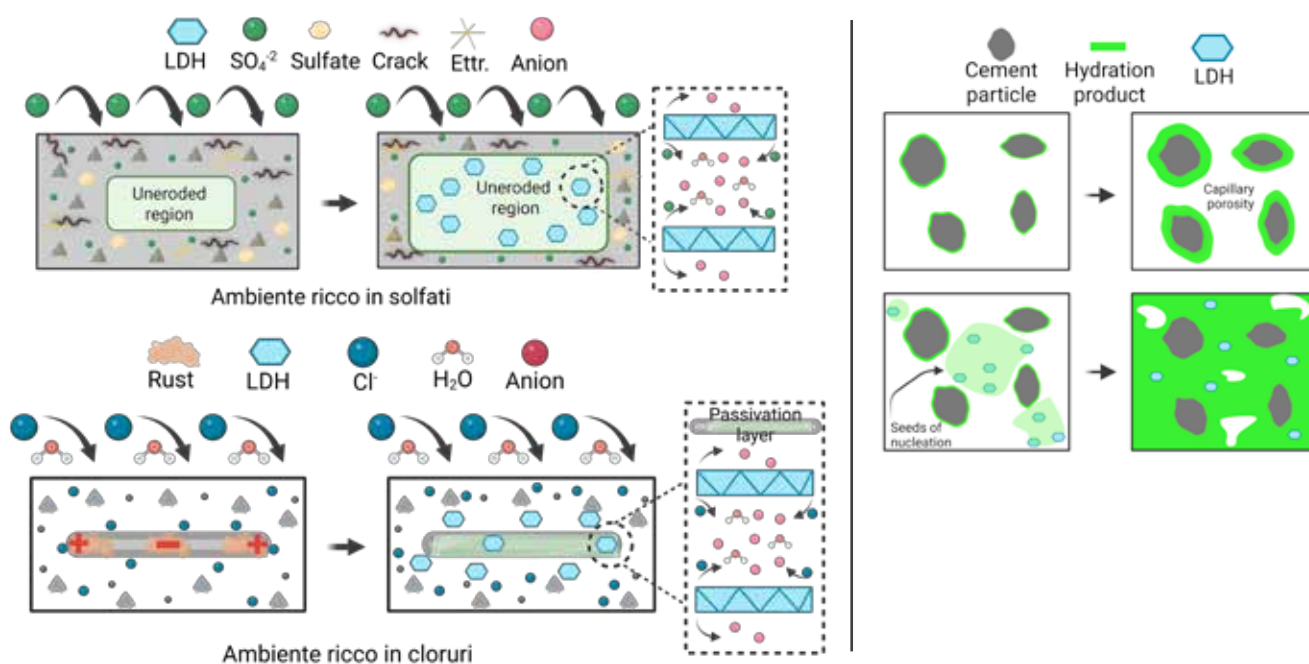
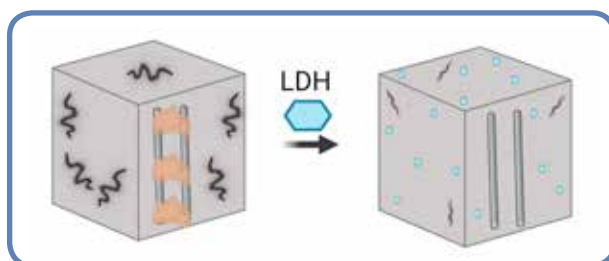
Sostenibilità



Durabilità



Resistenza attacchi cloruri e solfatici



## NANO (LDHs) PER CEMENTI PIÙ DUREVOLI ED ECOSOSTENIBILI

Il prodotto è costituito da idrossidi doppi stratificati (LDHs) nanometrici, impiegati per incrementare la sostenibilità dei prodotti cementizi. Grazie alle loro dimensioni e alle proprietà chimico-fisiche quali lo scambio anionico con effetto memoria, nonché alla possibilità di essere facilmente sintetizzati con diversa configurazione anionica, essi rappresentano degli ottimi additivi per ridurre i processi di alterazione dei cementi anche in ambienti fortemente aggressivi e quindi di aumentarne il tempo di vita media. In particolare, l'aggiunta di nano LDHs potrebbe ridurre ad esempio l'attacco a cloruri, in ambiente marini, che porta alla corrosione delle armature per reazioni ossido riduttive con conseguente dissoluzione locale del film protettivo e deposizione

di ruggini (corrosione per vaiolatura), come anche l'attacco a solfati che porta alla formazione di ettringite secondaria con conseguente espansione volumetrica e formazioni di estesi cracks. A tal fine, sono stati sintetizzati, mediante tecnica ad ultrasuoni, due diversi LDHs nanometrici in forma nitrato ( $\text{MgAl-NO}_3$ ) e formiato ( $\text{MgAl-HCOO}^-$ ). Questi sono stati successivamente inseriti, in differenti percentuali, all'interno di paste cementizie. L'effetto dell'aggiunta degli LDHs è stato monitorato nel tempo tramite esperimenti di idratazione *in situ* delle paste cementizie, al fine di valutarne l'effetto sul processo iniziale di presa e sulla capacità di cattura anionica.



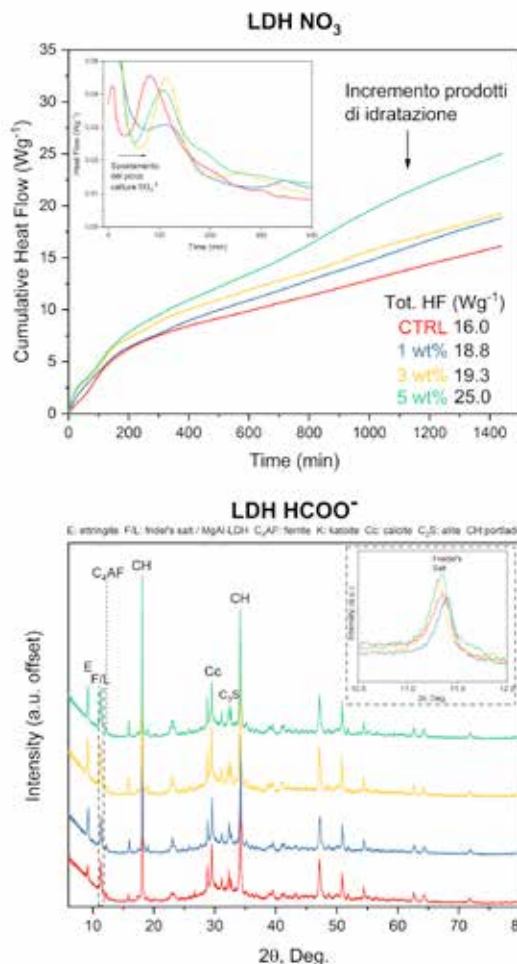
## LDHs NANOMETRICI: UNA SOLUZIONE PER CEMENTI PIÙ RESISTENTI

La produzione di cemento Portland è responsabile di circa il 7% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> e del 4% dei consumi energetici mondiali, risultando il materiale manifatturiero più utilizzato al mondo (circa 4,6 miliardi di tonnellate all'anno).

Oltre alla riduzione del contenuto di clinker mediante l'impiego di materiali cementizi supplementari (SCM), una soluzione chiave per aumentarne la sostenibilità è prolungarne la durata utile, adottando una progettazione orientata alla durabilità e limitando difetti e danneggiamenti. I sistemi cementizi sono soggetti a fenomeni di degrado come attacco solfatico, penetrazione dei cloruri e carbonatazione, specialmente in ambienti marini, dove la presenza combinata di cloruri e solfati accelera la perdita di prestazioni e la riduzione della vita utile. In queste condizioni, la capacità di legare e immobilizzare gli ioni si rivela determinante per garantire la durabilità dei manufatti. Oltre all'uso di SCM, l'impiego di idrossidi doppi stratificati (LDHs) si è affermato come soluzione innovativa per incrementarne la resistenza e la durata nel tempo. Gli LDHs, noti anche come argille anioniche o composti tipo idrotalcite, sono una classe di minerali naturali, facilmente sintetizzabili anche in laboratorio, caratterizzati da una struttura a strati.

Questi materiali sono costituiti da strati di tipo bruciate a carica positiva e da anioni intercalati nello spazio interstrato. La loro formula generale è  $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)_2]^{x+}(An^-)_{x/n} \cdot yH_2O$ , dove  $M^{2+}$  è un catione bivalente,  $M^{3+}$  un catione trivalente e  $An^-$  un anione, con una frazione molare dei cationi trivalenti ( $M^{3+}/(M^{2+} + M^{3+})$ ) compresa tra 0,20 e 0,33 nel caso di LDH puri. Grazie alla loro struttura stratificata, all'ampia variabilità composizionale e alla capacità di scambio anionico, gli LDHs trovano impiego come adsorbenti e scambiatori anionici e sono oggetto di studio come additivi per ridurre la presenza di anioni liberi e incrementare la durabilità dei sistemi cementizi e dei calcestruzzi. L'impiego dei nano-LDHs proposti in questo progetto ha dimostrato, in via preliminare, di svolgere un'efficace azione di scambio anionico e di favorire l'incremento dei prodotti di idratazione non cristallini nelle paste cementizie additivate con tali nanomateriali.

Le analisi termogravimetriche e calorimetriche confermano un progressivo aumento dei prodotti di idratazione (es. C-S-H) al crescere del contenuto di LDH, con un incremento del calore di idratazione fin dalle prime fasi del processo. Questa evidenza permette di confermare il loro ruolo come nuclei di formazione



dei prodotti di idratazione e, di conseguenza, del loro potenziale nel garantire prestazioni fisico-meccaniche superiori nel lungo periodo. Per quanto riguarda la cattura anionica, i risultati calorimetrici evidenziano come, già a pochi minuti dall'avvio dell'idratazione, gli LDHs scambino gli anioni solfato presenti in soluzione. Inoltre, i campioni di cemento additivati sono stati esposti ad ambienti ad elevata concentrazione di cloruri. Le analisi diffrattometriche (XRD) e termogravimetriche mostrano che, all'aumentare del contenuto di LDHs nanometrici, si registra una maggiore formazione di fasi cristalline contenenti cloro (sali di Friedel), stabilizzate in modo permanente all'interno della matrice cementizia. Questo conferma l'efficacia dei nano-LDHs sintetizzati e selezionati nello svolgere la funzione di scambiatori anionici. La combinazione dei risultati ottenuti apre prospettive promettenti e di significativo interesse applicativo dei nano-LDHs nel contesto dei sistemi cementizi, confermandone la validità e la potenziale introduzione su scala industriale.

### CONTATTI

Referente progetto: Paola Comodi

E-mail: [paola.comodi@unipg.it](mailto:paola.comodi@unipg.it)

Tel.: 0755852656





PRODOTTO

# PROCESSI BIOTECNOLOGICI PER LA PRODUZIONE DI POLIMERI “BIOBASED”

Poliidrossialcanoati per applicazioni in biomateriali

Technology Readiness Level



Elevata resa produttiva



Bassa “carbon-footprint”



Flessibilità



Migliore biodegradabilità



## APPROCCIO DI CIRCOLARITÀ: UN PROCESSO ECOLOGICO PER LA PRODUZIONE DI POLIMERI CON UN MIGLIORE COMPORTAMENTO DI BIODEGRADAZIONE DA FONTI RINNOVABILI

I poliidrossialcanoati (PHA) sono biopolimeri sintetizzati da vari microrganismi a partire da una serie di materie prime (zuccheri, lipidi, alcani...) in specifiche condizioni ambientali, come l'eccesso di carbonio e la mancanza di nutrienti essenziali, e accumulati all'interno del citoplasma senza alcuna alterazione dello stato osmotico della cellula (1). Negli ultimi decenni il PHA ha attirato grande attenzione all'interno del settore delle bioplastiche, grazie alla sua versatilità, biodegradabilità e biocompatibilità, che lo rendono interessante per una vasta gamma di applicazioni, rappresentando una valida alternativa ai tradizionali polimeri non biodegradabili.

La maggior parte delle plastiche convenzionali - che derivano da sintesi chimica - sono persistenti nell'ambiente e rilasciano derivati e microplastiche inquinanti, pericolose per l'uomo e la vita acquatica. D'altra parte, l'uso di bioplastiche biodegradabili contribuisce in modo significativo alla riduzione della produzione di rifiuti e delle emissioni di CO<sub>2</sub> durante il loro ciclo di vita. Le attività di Novamont in VITALITY si sono concentrate sullo sviluppo di un processo biotecnologico per la produzione di PHA mediante fermentazione microbica.



AGRICOLTURA | COSMETICA | AMBIENTE | INDUSTRIA CHIMICA | BIOPLASTICHE

## POLIMERI “BIO-BASED” BIODEGRADABILI E A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

La plastica è una delle materie prime dello stile di vita moderno, dati i suoi vantaggi in termini di costo, lavorabilità e proprietà funzionali. Poiché la maggior parte di esse deriva da sintesi chimica, le materie plastiche sono altamente persistenti nell'ambiente, causando notevoli danni all'ambiente e alla salute (2).

La ricerca su nuovi polimeri “bio-based”, biodegradabili e a basso impatto ha recentemente prodotto notevoli passi avanti, trovando un'ampia gamma di applicazioni grazie alle loro proprietà sicure ed eco-compatibili. Tra questi, i PHA sono caratterizzati da proprietà versatili, con punti di fusione che vanno da 40°C a 180°C, che li rendono applicabili alla produzione sia di polimeri termoplastici che di gomme (elastomeri).

Una caratteristica chiave del PHA è il suo migliore comportamento di biodegradazione in vari ambienti, tra cui in compostaggio industriale, in compostaggio domestico, nel suolo (ad esempio in caso di rilascio accidentale nel caso di applicazioni per agricoltura) e negli ambienti acquatici. Inoltre, il PHA può essere potenzialmente applicato alla produzione di materiali adatti a un'ampia gamma di prodotti – come le capsule di caffè, le posate monouso per alimenti e contenitori per cibo – il cui recupero e riciclo sono spesso più svantaggiosi e laboriosi (3).

Il PHA può essere prodotto attraverso la fermentazione microbica da diverse materie prime, compresi i sottoprodotti delle attività agroindustriali, a condizione che siano garantite condizioni ambientali specifiche, ad esempio in mancanza di nutrienti essenziali come il fosforo o l'azoto, rendendoli una scelta sostenibile e riducendo i costi di produzione. Negli ultimi anni, l'industria delle bioplastiche ha visto una rapida crescita e le prospettive future includono anche una gamma più ampia di applicazioni industriali per il PHA (4).

In questo contesto, il team di ricerca di Novamont ha isolato e testato un ceppo microbico produttore di PHA, in grado di crescere su un'ampia gamma di



fonti di carbonio rinnovabili. I processi di produzione del PHA sviluppati si sono focalizzati su: i) trovare le condizioni di fermentazione ottimali per ridurre i costi delle materie prime trovando le migliori condizioni di fermentazione per il microrganismo, in termini di rapporto carbonio/azoto, concentrazione di nutrienti e parametri fisici; ii) selezionare la fonte di carbonio rinnovabile ottimale, al fine di indurre il massimo accumulo di PHA all'interno delle cellule nel minor tempo di produzione; iii) sviluppo di metodi di estrazione e purificazione “green” per ottenere PHA di elevata purezza adatti per applicazioni di packaging o prodotti biodegradabili.

### REFERENCES

- [1] Dawes, E. A., Senior, P. J. (1973). The role and regulation of energy reserve polymers in micro-organisms. *Advances in microbial physiology*.
- [2] Hashmi M. S. J. (2022) Regeneration and Recovery of Plastics - *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers*.
- [3] Vicente, D., Neves Proença, D., Morais, P. V. (2023). The Role of Bacterial Polyhydroxyalkanoate (PHA) in a Sustainable Future: A Review on the Biological Diversity - *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- [4] Gutschmann, B., Huang, B., Santolin, L., Thiele, I., Neubauer, P., Riedel, S. L. (2022). Native feedstock options for the polyhydroxyalkanoate industry in Europe: A review. *Microbiological Research*.

### CONTATTI

**Referente progetto: Fabio Apone**

**E-mail: [fabio.apone@novamont.com](mailto:fabio.apone@novamont.com)**



# INNOVAZIONE NEL RICICLO E NEL RECUPERO DEI POLIMERI

## Tecnologie innovative per il riciclo dei materiali



Technology Readiness Level



Versatilità



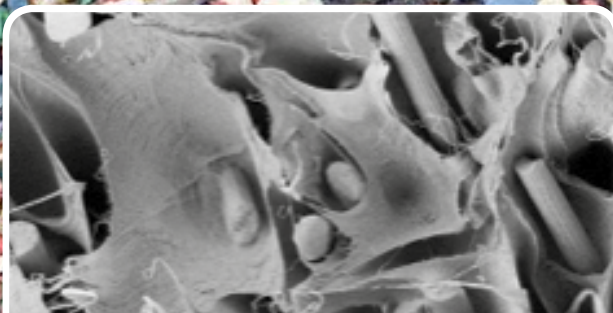
Sostenibilità



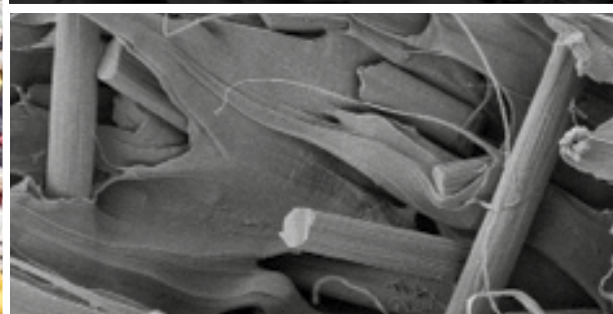
Completezza



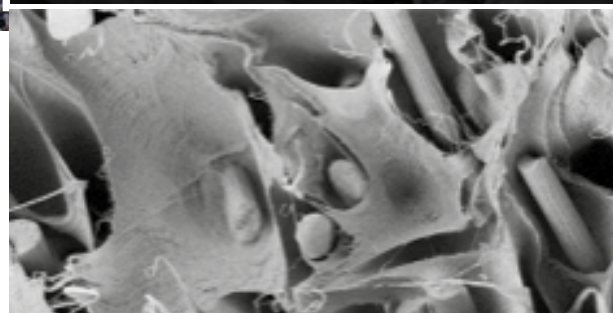
Scalabilità



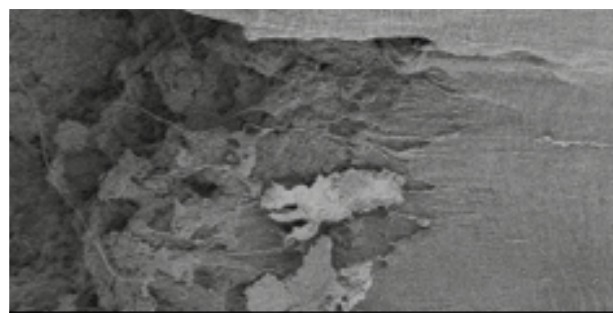
Neat rHDPE carbon fixers mix



rHDPE / rheological additive / carbon fixers mix



rHDPE / rheological additive / grafting agent / carbon fixers mix



rHDPE / compatibilizer / PET - separated phases system

### SVILUPPO DI TECNOLOGIE PER IL RICICLO DI MATERIALI DESTINATI ALLA DISCARICA

Il servizio consiste in tecnologie avanzate e sostenibili per l'utilizzo del polietilene ad alta densità utilizzato nelle bocche di fissaggio delle traversine ferroviarie, le quali sono ciclicamente sostituite ed i materiali separati. Tonnellate di polimero di elevato valore, contaminato da residui di cemento, molto viscoso allo stato fuso e difficili da lavorare, finisce attualmente in discarica.

Le tecnologie studiate consentono di pulire e lavorare tale materiale, anche grazie all'introduzione di piccolissime quantità di additivi, ottenendo prestazioni simili a quelle del vergine corrispondente, che possono essere rese anche migliori attraverso la miscelazione con altri materiali riciclati (PET, scarti di fibra di carbonio, ecc.), ampliandone funzionalità e campo di applicazione

*Immagini SEM dei vari sistemi riciclati, che sono stati ottenuti.*

APPLICAZIONE TRASVERSALE A PIÙ SETTORI



# Materiali vergini sostituiti con Polimeri e Compositi da seconda vita, ad elevata performance e basso impatto ambientale

Tecnologie avanzate e sostenibili del polietilene ad alta densità utilizzato nelle boccole di fissaggio delle traversine ferroviarie, le quali sono ciclicamente sostituite ed i materiali separati. Tonnellate di polimero di elevato valore, contaminato da residui di cemento, molto viscoso allo stato fuso e difficili da lavorare, finisce attualmente in discarica.

Le tecnologie studiate consentono di pulire e lavorare tale materiale, anche grazie all'introduzione di piccolissime quantità di additivi, ottenendo prestazioni simili a quelle del vergine corrispondente, che possono essere rese anche migliori attraverso la miscelazione con altri materiali riciclati (PET, scarti di fibra di carbonio, ecc.), ampliandone funzionalità e campo di applicazione.

Le tecnologie di riciclo sono state applicate ad un prodotto difficile da processare e destinato alla discarica, ossia il polietilene ad alta densità utilizzato nelle boccole di fissaggio delle traversine ferroviarie. Tale materiale è molto rigido, duro e caratterizzato da elevata viscosità allo stato fuso. Al fine vita si presenza contaminato da ossidi di ferro e residui cementizi.

E' stata sviluppata su scala di laboratorio un metodo di pulizia e recupero del materiale, riproducibile su scala pilota ed industriale, che consenta di ottenere nuovi granuli del materiale suddetto. Si prevede che il sistema in questione venga arricchito con una piccola frazione in peso di additivi in grado modificarne la reologia e facilitarne la lavorabilità.

In questo progetto sono stati selezionati residui fibrosi, prodotti dallo scarto dell'industria del riciclo della fibra di carbonio (materiale raccolto nei filtri o sfridi), che possono incorporati nella matrice di HDPE riciclato, mediante processi di estrusione. Si tratta di fibrille di qualche millimetro, contenente tracce di poliestere (PET).

Si prevede l'utilizzo di piccole frazioni in peso di compatibilizzante, per incrementare l'interfaccia tra matrice e fibra. Si potrà ottenere un lieve incremento della resistenza a rottura ed una diminuzione della deformabilità, ma soprattutto un elevato aumento della rigidità, proporzionale alla frazione in peso di fibra.

L'utilizzo della fibra consentirà di aumentare anche la conducibilità termica del materiale e probabilmente anche di quella elettrica.

Un materiale così preparato potrebbe essere caratterizzato da un elevato grado di orientazione delle fibrille nella direzione del flusso realizzato nella fase di processo, la qual cosa incrementa la rigidità e la resistenza a spese della conducibilità elettrica. Si prevede l'utilizzo di piccolissime frazioni in peso di additivi micrometrici o nanometrici per ottenere un sistema altamente conduttivo, adatto ad applicazioni strutturali e nelle schermature elettromagnetiche.

E' prevista la miscelazione del polimero in questione con altri polimeri riciclati, come il PET ottenuto dalle bottiglie, che presenta diverse caratteristiche dal polietilene. Anche per il PET è stata sperimentata un'apposita sequenza di fasi di riciclo. Attraverso la miscelazione dei due polimeri è previsto un duplice effetto. Il primo riguarda l'incremento delle proprietà meccaniche del sistema. Anche in questo caso si prevede l'utilizzo di un apposito compatibilizzante. Il secondo è lo sviluppo di un sistema, caratterizzato da una microstruttura a fase separate di HDPE e PET, finemente disperse le une nelle altre, il quale sarà miscelato con le fibre di carbonio suddette. Si prevede che le fibre andranno a collocarsi nelle regioni di interfase e risulteranno disperse nella matrice senza orientazione preferenziale. Ciò abbasserà la soglia di percolazione del sistema e ne incrementerà notevolmente la conducibilità elettrica. Attraverso il Life Cycle Analysis, sarà possibile verificare la sostenibilità ambientale di ogni sistema prodotto e tecnologia applicata, nonché individuare ogni Hot Spot nell'intera filiera, che va dalla fase di riciclo a quella di manifattura del prodotto finito. Tale approccio/servizio è applicabile a qualsiasi polimero e composito riciclato.

## CONTATTI

**Referente progetto: Roberto Petrucci**

**E-mail:** roberto.petrucci@unipg.it

**Tel.:** 0744492956





PRODOTTO

# SISTEMI FOTOCROMICI BIOMIMETICI CHE ESTENDONO LA VISIONE UMANA NELL'UV

Un comodo dispositivo chimico (in fase fluida o su carta) per monitorare l'UV

Technology Readiness Level



Dispositivo  
ottico per UV

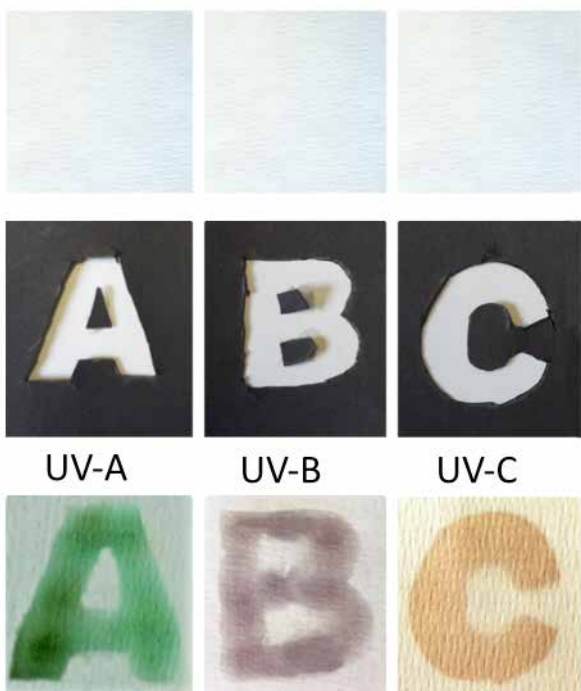


Transduce  
radiazioni UV



Reversibilità

Solid Cellulose support: "BIPFUL" paper



## UN SENSORE FOTOCHIMICO SEMPLICE E MULTI-USO PER DISCRIMINARE LE REGIONI DELL'UV

Sistemi di tre o quattro composti fotocromici termo-reversibili, opportunamente selezionati, hanno la proprietà emergente di discriminare le tre regioni UV dello spettro elettromagnetico. Questi sistemi denominati BIPFUL (acronimo di "Biologically Inspired Photochromic Fuzzy Logic" systems) imitano la capacità umana di distinguere colori per mezzo di tre tipi di fotorecettori. Sono promettenti per l'implementazione di dispositivi che distinguono le frequenze UV in modo fotochimico invece che fotoelettrico. Tali rivelatori UV fotochimici possono essere direttamente collegati alla visione umana grazie ai colori che essi producono e integrano le prestazioni del nostro sistema visivo, consentendo un ulteriore grado di rilevamento e discriminazione.

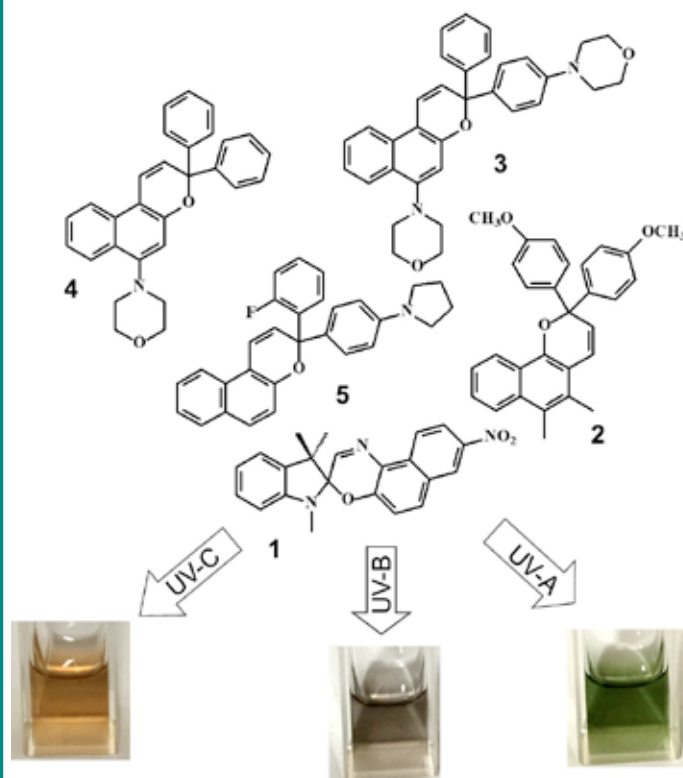
AMBIENTE | COSMETICA | EDILIZIA | INDUSTRIA ALIMENTARE  
SANITÀ | INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES



# SISTEMA CHIMICO IN GRADO DI ESTENDERE LA VISIONE UMANA NELL'UV

I BIPFUL (Biologically Inspired Photochromic Fuzzy Logic) systems sono costituiti da composti fotocromici diretti termicamente reversibili. Un composto fotocromico diretto termicamente reversibile è una specie che in assenza di radiazione UV è incolore. Sotto irradiazione UV, esso diviene colorato perché cambia la propria struttura. Se si interrompe l'irradiazione UV, il sistema chimico si decolora a temperatura ambiente. Ogni composto fotocromico può originare una specifica tinta qualunque sia la lunghezza d'onda di irradiazione dell'UV. Combinando composti fotocromici opportunamente scelti, abbiamo realizzato dei sistemi che generano differenti tinte in relazione a quale regione dell'UV la lunghezza d'onda di irradiazione appartiene. Per esempio, uno di questi sistemi diviene verde se irradia con lunghezze d'onda che appartengono all'UV-A; grigio se irradia con l'UV-B ed arancio se irradia con l'UV-C. Il colore è predicibile e il comportamento del sistema è reversibile. Abbiamo dimostrato che il sistema può lavorare in soluzione di acetonitrile o in supporto solido di cellulosa come la carta bianca. L'attività sensoriale dei BIPFUL systems è probabilmente sfruttabile anche in altri mezzi.

Il prodotto che proponiamo costituisce un significativo risultato dell'innovativa linea di ricerca dell'Intelligenza Artificiale Chimica. Esso è stato sviluppato e implementato per mezzo di una metodologia che prevede l'indagine del sistema nervoso umano a livello "computazionale", "algoritmico" e di "implementazione". Proponiamo uno schema concettuale rigoroso, basato su leggi chimico-fisiche e sui principi della Fuzzy logic, per l'implementazione dei BIPFUL systems che possono estendere la visione umana dal visibile all'UV. I BIPFUL systems mimano la visione di vertebrati ed invertebrati che hanno differenti fotorecettori per distinguere le frequenze dello spettro elettromagnetico. I BIPFUL systems sono promettenti per distinguere le frequenze dell'UV per via fotochimica invece che foto-elettrica come accade quando si usano semiconduttori.



I BIPFUL systems hanno il vantaggio di potersi collegare alla visione umana attraverso i colori che generano e possono integrare le prestazioni del nostro sistema visivo.

I BIPFUL systems possono lavorare sia in fase fluida (soluzioni) che in supporto solido come la carta. I BIPFUL systems possono trovare applicazione nelle aree tematiche dei materiali e della robotica ed in diversi ambiti tecnologici e di ricerca, come (1) packaging, (2) sensoristica, (3) smart materials, (4) materiali e superfici innovative, (5) chimica fisica dei materiali. I BIPFUL systems possono esser utilizzati per carte di sicurezza per proteggere documenti e packaging dalla contraffazione. Inoltre essi possono esser utilizzati come sensori per distinguere le regioni dell'UV in robotica e per segnalare la presenza di radiazione UV-C per scopi biomedici poiché le lunghezze d'onda inferiori ai 280 nm possono esser dannose per l'uomo.

## CONTATTI

Referente progetto: Pier Luigi Gentili  
E-mail: [pierluigi.gentili@unipg.it](mailto:pierluigi.gentili@unipg.it)  
Tel.: 0755855573



# SMART BRICKS: INNOVATIVI MATTONI PIEZORESISTIVI PER LA MISURA DELLE DEFORMAZIONI NELLE COSTRUZIONI IN MURATURA

Adatti al monitoraggio strutturale degli edifici in muratura

Technology Readiness Level



Piezoresistenza



Compatibilità con la muratura

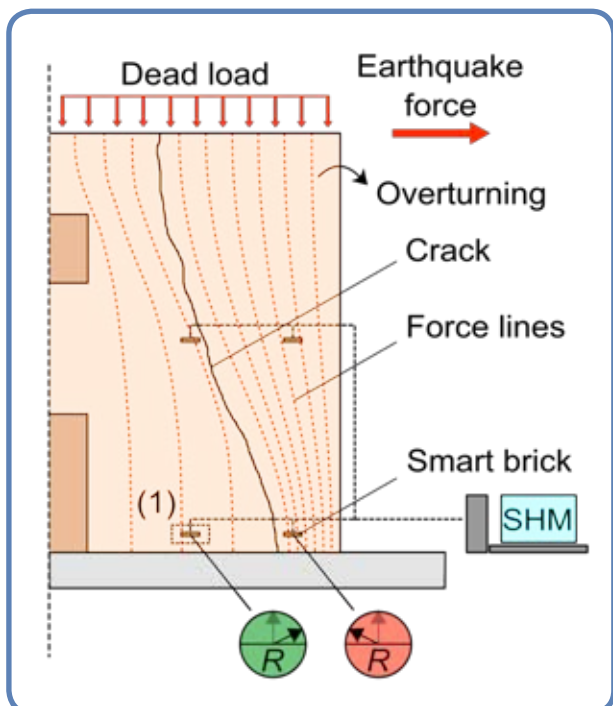


Durabilità nel tempo

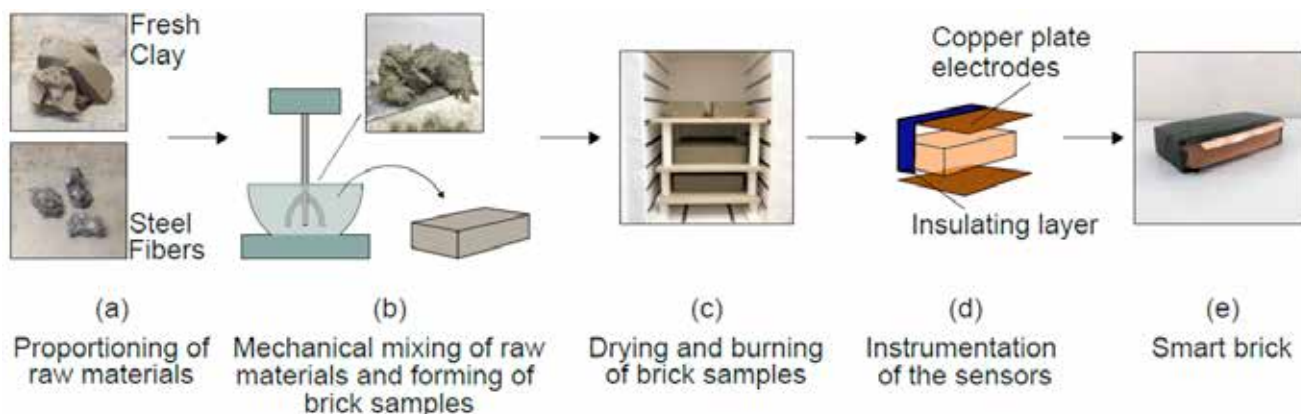


## REINVENTARE IL MONITORAGGIO STRUTTURALE DEGLI EDIFICI IN MURATURA

Gli smart brick sono innovativi sensori di deformazione (funzionano come trasduttori piezoresistivi) simili per aspetto, materiale e proprietà meccaniche ai mattoni di argilla comunemente utilizzati in edilizia. Essi consentono il monitoraggio delle deformazioni tramite il principio della piezoresistività e la conversione degli output elettrici misurati a livello del singolo sensore, come ad esempio la resistenza elettrica, operata da algoritmi specifici. Grazie a queste caratteristiche, gli smart brick possono essere utilizzati per costruire edifici/elementi strutturali in muratura auto-diagnostics, poiché dotati di una rete di sensori di deformazione integrata e diffusa. L'uso della tecnologia smart brick può essere previsto anche nel caso di edifici in muratura esistenti attraverso la sostituzione del mattone preesistente nella tessitura muraria con lo smart brick, quindi l'uso di malta espansiva per il ripristino della trasmissione delle sollecitazioni.



# LA TECNOLOGIA SMART BRICK PER IL MONITORAGGIO STRUTTURALE DEGLI EDIFICI IN MURATURA



Nel settore delle infrastrutture, gli smart brick trovano invece applicazione nel monitoraggio strutturale di ponti ad arco in mattoni. Le strutture in muratura dotate dell'innovativa tecnologia smart brick possono fornire in tempo reale informazioni su possibili cambiamenti del loro stato di deformazione in condizioni operative, quindi anche a seguito di circostanze critiche come terremoti, cedimenti differenziali di fondazione e altri scenari di danno. In generale, modifiche nello stato di deformazione sono attese in corrispondenza dello sviluppo di danni strutturali, come quadri fessurativi, quindi al manifestarsi di discontinuità strutturali tali da indurre la redistribuzione delle sollecitazioni/deformazioni tra gli elementi della struttura portante. Il processo di produzione degli smart brick è molto simile a quello dei mattoni convenzionali in argilla. L'argilla fresca viene mescolata con una quantità specifica di microfibre di acciaio inossidabile aventi un diametro di 12  $\mu\text{m}$  e una lunghezza di 5 mm. Queste microfibre sono elettricamente conduttive e la loro aggiunta serve per sviluppare la risposta piezoresistiva della matrice argillosa. Il materiale composito così ottenuto viene modellato in stampi a forma di mattone, essiccato e cotto. Gli smart brick, dopo il raffreddamento, vengono strumentati con elettrodi di rame per consentire l'esecuzione di misurazioni elettriche, quindi ricoperti da un nastro isolante che limita la propagazione del flusso di corrente al loro interno. La risposta piezoresistiva così ottenuta consente agli smart brick di percepire le deformazioni meccaniche applicate come variazioni della loro resistenza elettrica interna.

Ad esempio, quando uno smart brick viene sottoposto ad una la sua resistenza elettrica diminuisce in maniera direttamente correlata alla deformazione applicata. Una volta installati e alimentati, è possibile eseguire misurazioni elettriche sugli smart brick, quindi, utilizzare uno specifico modello elettromeccanico per stimare le misure di deformazione dall'elaborazione delle uscite elettriche acquisite dai sensori stessi. Diverse strategie di monitoraggio possono poi essere applicate per processare ulteriormente le misure di deformazione ottenute dagli smart brick al fine di individuare lo sviluppo di danni strutturali nell'edificio monitorato.

Ad oggi, le applicazioni di monitoraggio strutturale della tecnologia smart brick comprendono (i) il monitoraggio della deformazione in un pannello in muratura sottoposto a carico di compressione centrato, (ii) il rilevamento e la localizzazione dei danni indotti da una sequenza sismica su un edificio in muratura costruito in laboratorio in scala reale, (iii) la ricostruzione del campo di deformazione e l'identificazione dei danni in una parete in muratura soggetta a condizioni di carico eccentrico, e (iv) la detezione di danni strutturali in un edificio in muratura in scala reale soggetto a progressivi cedimenti differenziali di fondazione.

## CONTATTI

Referente progetto: Filippo Ubertini

E-mail: [filippo.ubertini@unipg.it](mailto:filippo.ubertini@unipg.it)

Tel.: 075 585 3954



# SISTEMA CHEMO-ACOUSTICO BIOMIMETICO PER RILEVARE INFRASUONI E SUONI DI BASSE FREQUENZE

## Un innovativo dispositivo chimico (in fase fluida) per monitorare onde acustiche con onde chimiche



**Utilizzabile  
per dispositivi  
uditivi**



**Utile per monitorare  
vibrazioni meccaniche  
di terreni e strutture**



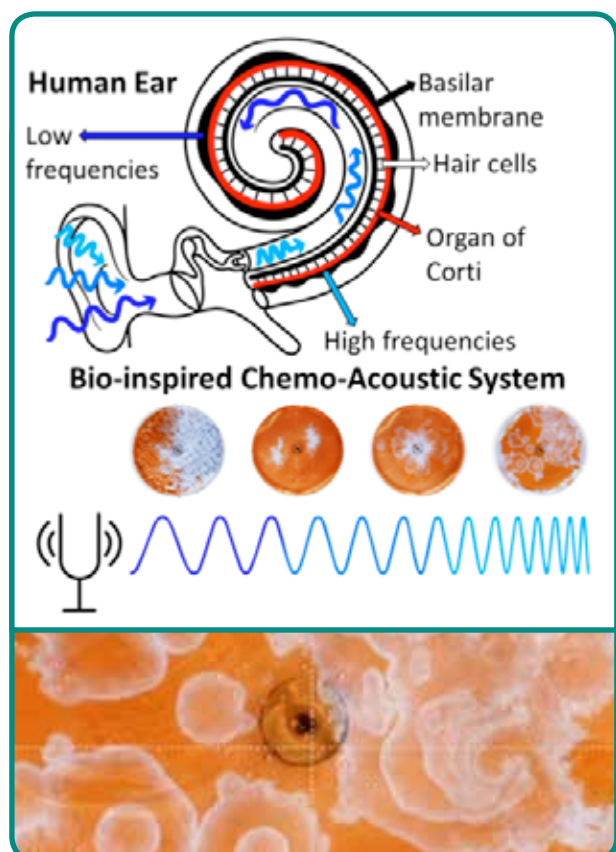
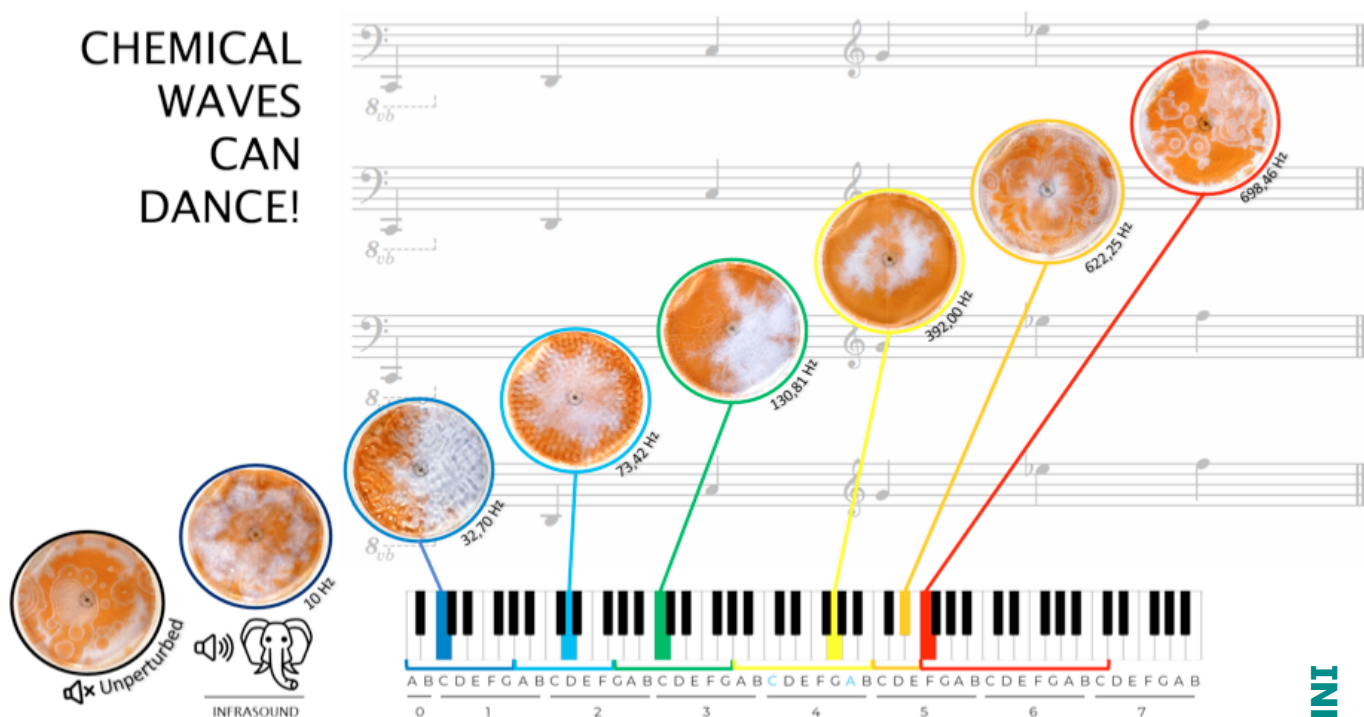
## Azione visibile a occhio nudo



### Estende l'udito agli infrasuoni

**PRODOTTO**

CHEMICAL  
WAVES  
CAN  
DANCE!



# LE ONDE CHIMICHE POSSONO IMITARE LE PRESTAZIONI DELLA COCLEA

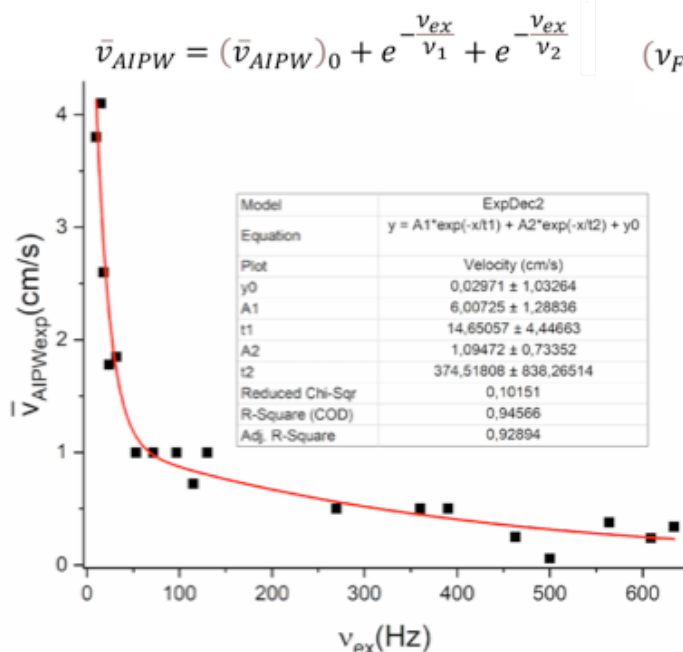
Il prodotto consiste in un sistema chimico costituito da un sottile strato di una soluzione acquosa contenente i reagenti della reazione di Belousov-Zhabotinsky (BZ) che origina onde chimiche. Quando viene sottoposto a vibrazioni meccaniche nell'intervallo compreso tra 10 Hz e 2000 Hz, le onde chimiche rispondono generando peculiari strutture spazio-temporali che consentono di discriminare almeno sette intervalli. Analogamente all'orecchio umano, in cui la coclea trasduce l'energia meccanica in energia elettrochimica e rappresentazioni topografiche delle onde acustiche sono generate lungo la membrana basilare, il sistema chimico basato sulla BZ trasduce l'energia meccanica in energia chimica e ben distinguibili strutture spazio-temporali vengono generati al suo interno. Le caratteristiche spazio-temporali dipendono dalle frequenze delle onde meccaniche.

**AMBIENTE | EDILIZIA | ENERGIA | SANITÀ  
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

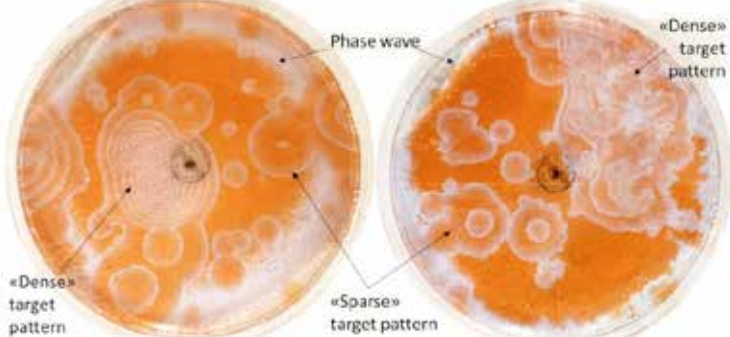


# LE ONDE CHIMICHE PER MONITORARE LE ONDE MECCANICHE

Dipendenze della velocità delle onde chimiche di fase di avvezione (a sinistra) e delle lunghezze d'onda delle strutture di Faraday (a destra) nei confronti della frequenza delle onde acustiche ( $v_{ex}$ )

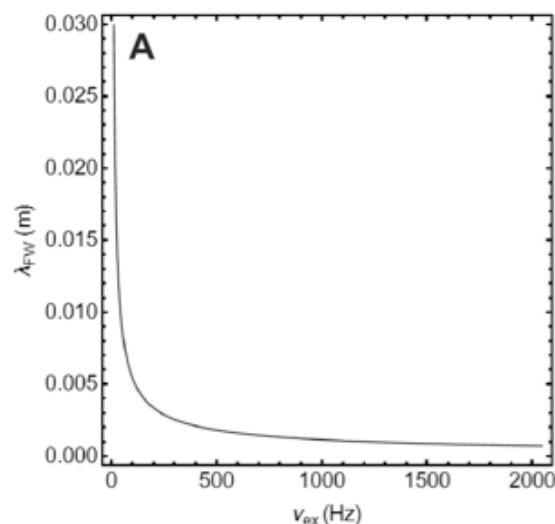


Alcune caratteristiche e prestazioni del sistema nervoso umano possono essere imitate non solo attraverso software ed in hardware, ma anche in "wetware", cioè attraverso soluzioni di opportuni sistemi chimici mantenuti lontani dall'equilibrio chimico. In particolare, un sottile strato di una soluzione acquosa contenente i reattivi della reazione di Belousov-Zhabotinsky (BZ), mantenuto su una piastra Petri, è in grado di imitare la coclea che distingue le frequenze acustiche. Come nell'orecchio umano la coclea trasduce l'energia meccanica delle frequenze acustiche nell'energia elettrochimica dei potenziali di azione e la membrana basilare origina una rappresentazione topografica dei suoni, così il sistema chimico basato sulla BZ origina diverse strutture spazio-temporali come rappresentazione di diverse bande acustiche per mezzo della transduzione di energia meccanica in energia chimica. Le onde meccaniche con frequenze comprese tra 10 e 2000 Hz sono suddivisibili in bande distinte sulla base di tre principali caratteristiche delle strutture spazio-temporali emergenti: (1) i tipi e le frequenze delle onde chimiche, (2) la loro velocità di propagazione e (3) le lunghezze d'onda delle celle tipiche delle strutture di Faraday. Il sistema chemo-acustico basato sulla BZ non è tanto efficiente e raffinato come la coclea umana:



Comportamento delle onde chimiche non perturbate (a sinistra) e quando sottoposta a frequenze acustiche superiori ai 650 Hz (a destra)

$$(v_{FW} \lambda_{FW})^2 = \left[ \frac{g_0 \lambda_{FW}}{2\pi} + \frac{\gamma}{\rho} \left( \frac{2\pi}{\lambda_{FW}} \right) \right] \tanh \left( \frac{2\pi}{\lambda_{FW}} h \right)$$



le frequenze delle onde chimiche sono circa 200 volte più basse delle frequenze acustiche. Ciononostante esso può essere utilizzato per individui con menomazioni uditive e consente di estendere la capacità uditiva umana alla regione degli infrasuoni: in entrambi i casi è possibile risalire alle frequenze delle onde meccaniche sulla base delle caratteristiche spazio-temporali delle onde chimiche che vengono originate dal sistema chemo-acustico. Infine tale sistema chemo-acustico può essere utilizzato in geologia per il rilevamento dei movimenti del terreno, a fini di monitoraggio dei terremoti e ricerca di pozzi di combustibili fossili o, alternativamente, per il rilevamento delle vibrazioni di costruzioni ai fini della valutazione della loro stabilità. Prestazioni del dispositivo come il potere discriminatorio delle frequenze e la sua sensibilità possono essere aumentati provando a modificare la forma ed il materiale del piatto contenente la soluzione della BZ.

## CONTATTI

Referente progetto: Pier Luigi Gentili

E-mail: pierluigi.gentili@unipg.it

Tel.: 0755855573



# NUOVI NANOCOMPOSITI ECOSOSTENIBILI PER L'IMPIEGO IN PROCESSI FOTOCATALITICI E IN DISPOSITIVI ELETTRONICI



PRODOTTO

Technology Readiness Level



Stabilità  
agli agenti  
atmosferici



Energia  
chimica



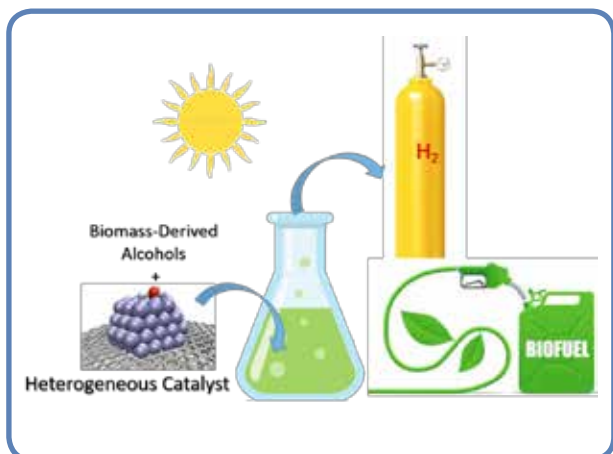
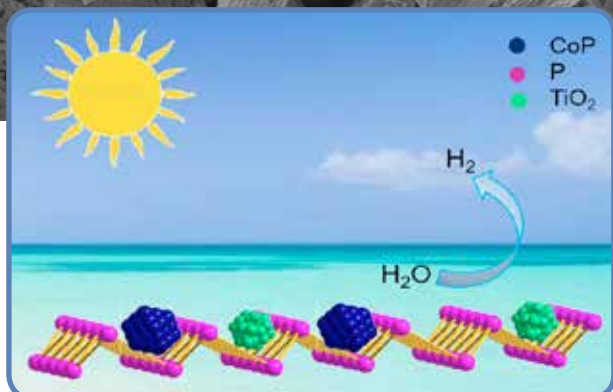
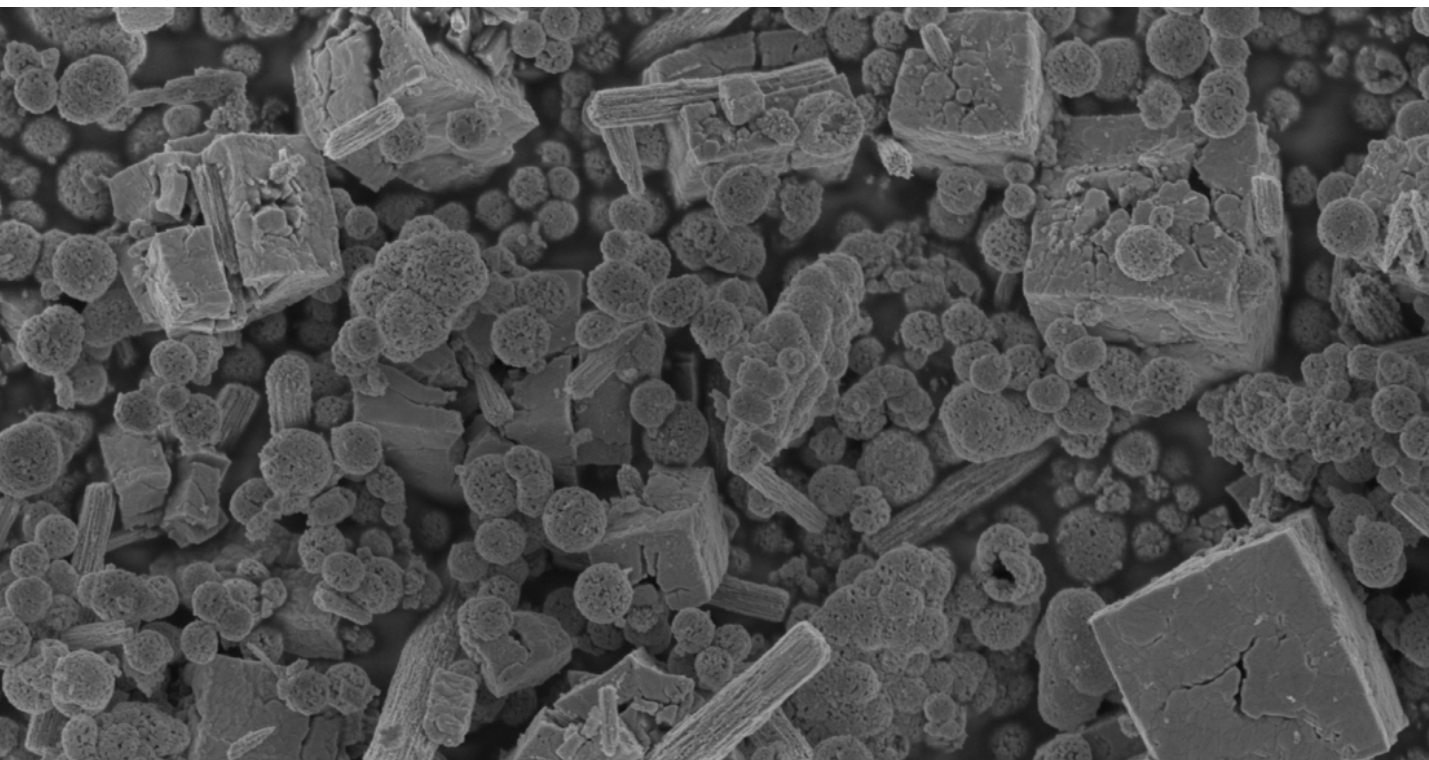
Non contiene  
metalli nobili o  
elementi tossici



Versatilità



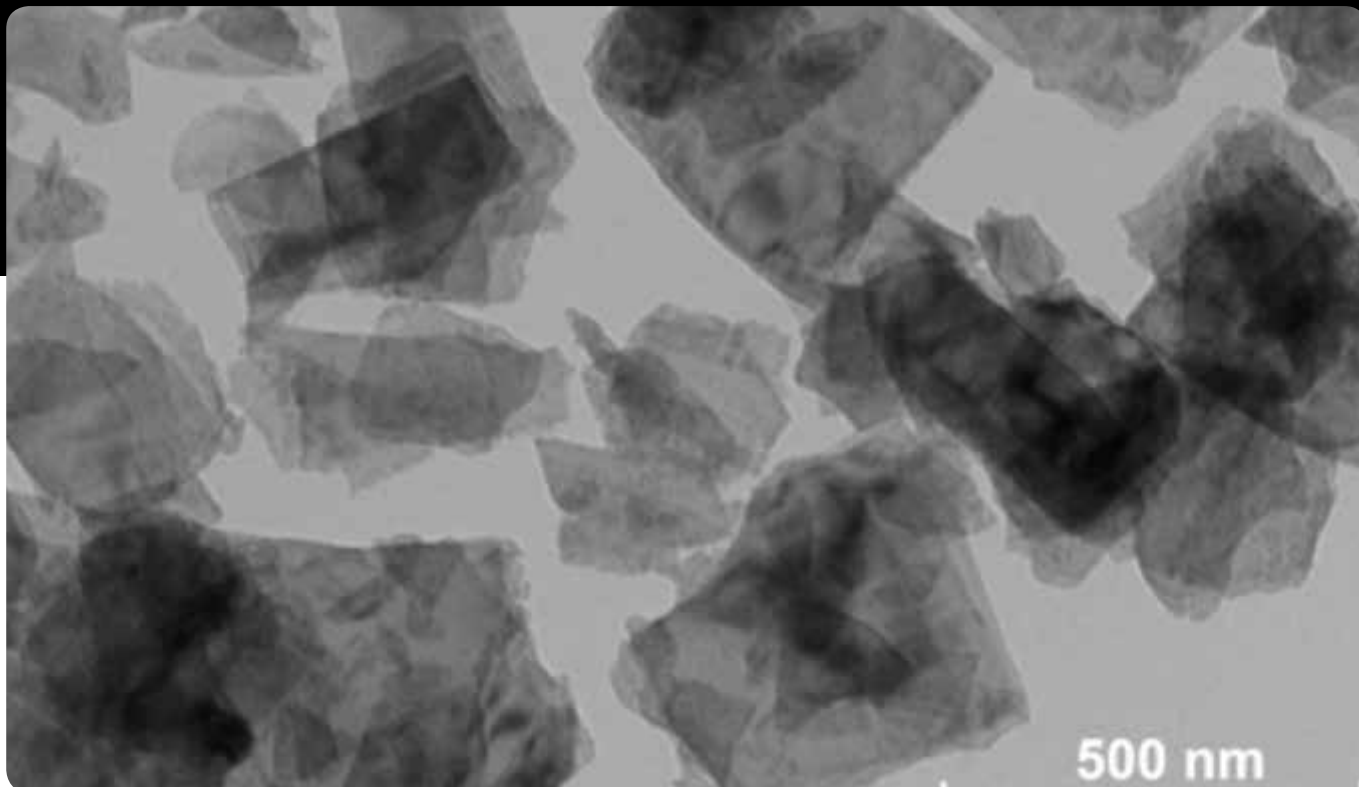
Scalabilità



## NUOVI NANOMATERIALI VERSATILI ED ECOSOSTENIBILI PER APPLICAZIONE IN FOTOCATALISI E IN DISPOSITIVI ELETTRONICI.

Il prodotto consiste in materiali nanostrutturati con peculiari proprietà ottiche ed elettroniche. In particolare si tratta di materiali in grado di assorbire l'energia solare e di utilizzarla per far avvenire processi chimici, evitando così la necessità di una attivazione termica che richiede alto dispendio di energia elettrica. I nuovi nanomateriali si possono applicare come fotocatalizzatori in una serie di processi quali la decontaminazione delle acque da inquinanti di varia natura, la produzione di idrogeno dall'acqua, la trasformazione di prodotti di scarto, come ad esempio la anidride carbonica in prodotti ad alto valore aggiunto quali metanolo, metano o urea. Inoltre sono stati testati con successo in una altra importante applicazione ovvero come sensori di gas (ossidi di azoto, idrogeno).





Grazie alla esperienza acquisita nel campo, si è in grado di modulare finemente la sintesi del nanomateriale, sia nella morfologia e nelle dimensioni che nelle proprietà elettroniche, attraverso una funzionalizzazione mirata ad ottenere un nuovo nanomateriale che abbia le caratteristiche di un semiconduttore altamente performante, avente non solo la capacità di assorbire la luce solare ma anche dotato di alta mobilità di carica. Questa ultima è una proprietà fondamentale per la successiva applicazione del materiale come fotocatalizzatore. A questo proposito si è sviluppata la sintesi di nuovi nanocompositi, basati su semiconduttori metallici quali ossidi e solfuri ed allo stesso tempo si sta lavorando anche su semiconduttori metal-free, come carbonio nitruro ( $g-C_3N_4$ ) o fosforo nero che hanno delle peculiari proprietà ottiche ed elettroniche. Beneficiando degli strumenti a disposizione per la caratterizzazione chimica e spettroscopica (Diffrazione di raggi X, Raman, IR, UV-Visibile, Gas-Massa) ed anche del centro di microscopia elettronica interno all'istituto, dotato di SEM e HR-TEM, si è condotta una approfondita caratterizzazione a livello strutturale e atomico. Il laboratorio di M.C. è dotato di una opportuna strumentazione, ovvero di simulatore solare, che ha permesso di condurre studi sulla applicazione dei nuovi materiali come fotocatalizzatori.

Numerosi sono i processi a cui possono essere applicati questi nuovi nanomateriali: (1) la produzione di idrogeno verde da miscele di acqua e alcol, in particolare usando alcol derivanti dalla biomassa

in modo da ottenere da una parte il gas di interesse (idrogeno) e dall'altra in fase liquida, un prodotto derivante dalla parziale ossidazione della biomassa che ha un alto valore aggiunto.

Altri processi riguardano: 2) la purificazione e decontaminazione delle acque reflue da inquinanti organici di vari natura, 3) l'utilizzo di materiali di scarto, tra cui principalmente  $CO_2$ , per ottenere tramite fotocatalisi prodotti di interesse quali CO, metanolo, metano, e ultimo ma non meno importante, 4) la produzione di urea da  $CO_2$  e nitrati.

Altri studi condotti recentemente, dimostrano come i nuovi nanomateriali possano essere impiegati per costruire dei dispositivi elettronici, in particolare sono in grado di fungere da sensori di gas ed hanno dimostrato una elevata selettività verso determinati gas ed una elevatissima sensibilità (soglia ppb) nella sua rilevazione a temperatura e condizioni ambiente, senza richiedere una attivazione termica ad alta temperatura. Sono risultati funzionali soprattutto per l'idrogeno e per inquinanti ambientali come gli ossidi di azoto.

## CONTATTI

**Referente progetto: Maria Caporali**

**E-mail:** maria.caporali@cnr.it

**Tel.:** 055 522 5249 - 349 4627097



# NANOFLUIDI PER IL RAFFREDDAMENTO DI COMPONENTI ELETTRONICI: APPLICAZIONI A SISTEMI DI THERMAL MANAGEMENT PER DATA CENTER

Fluido termovettore con nanoparticelle per scambiatori di calore in elettronica

Technology Readiness Level



Conducibilità termica



Efficienza energetica



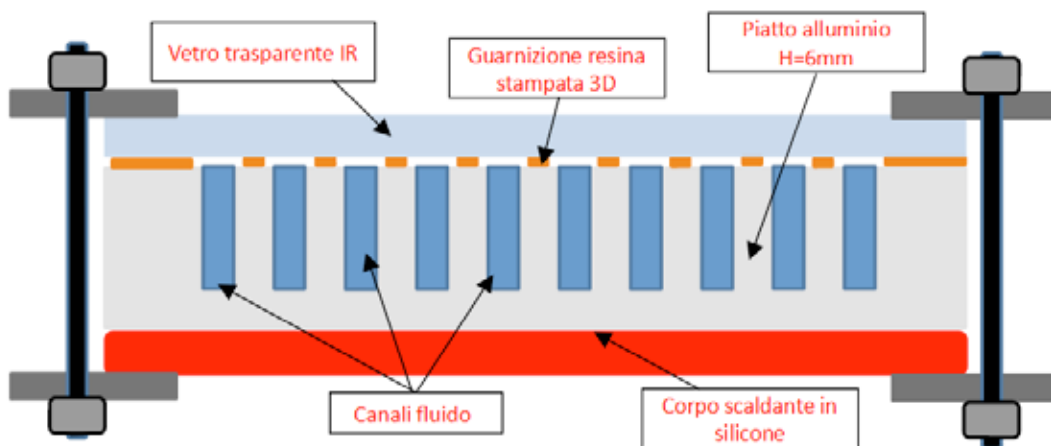
Raffreddamento



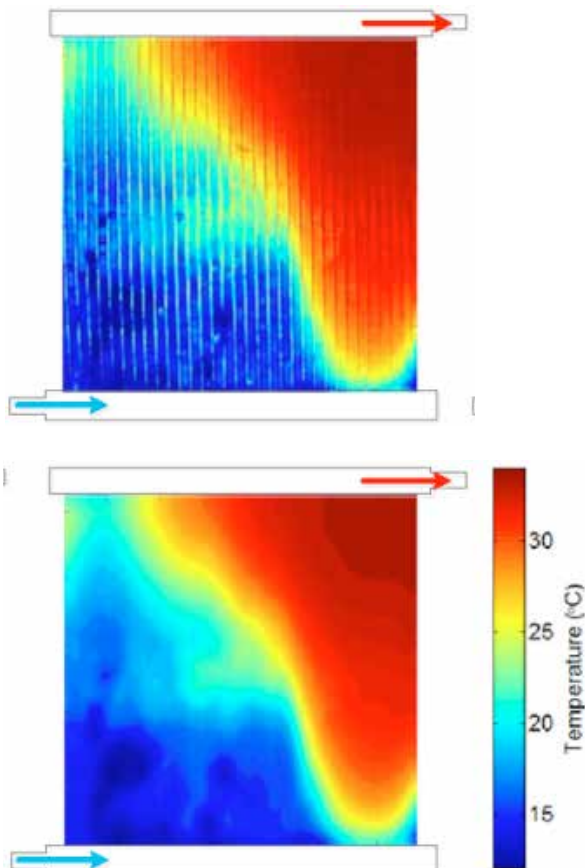
Proprietà termofisiche

## Sezione del dispositivo di misura

- Nel corpo di alluminio  $h \sim 6$  mm sono presenti  $n$  canali di dimensione  $1 \times 4$  mm.
- I canali sono chiusi superiormente con una finestra trasparente agli infrarossi (germanio) di spessore  $\sim 2-3$  mm. Una guarnizione stampata in 3D garantisce la tenuta



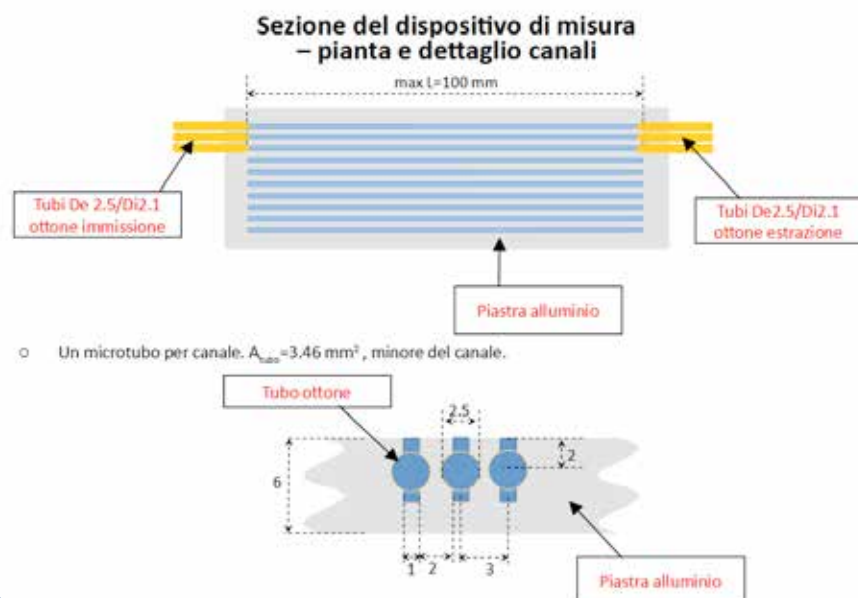
- Al di sotto della piastra di alluminio è posizionata un corpo scaldante in silicone alimentato in DC.
- L'intero sistema è chiuso da clamp periferiche.



## SISTEMI AVANZATI DI RAFFREDDAMENTO PER COMPONENTI ELETTRONICI

Il gruppo di ricerca del CNR, guidato da Maria Caporali, si occupa di design e sintesi di nuovi materiali nanostrutturati con peculiari proprietà ottiche ed elettroniche, in particolare si tratta di materiali in grado di assorbire l'energia solare e di utilizzarla per far avvenire processi chimici, evitando così la necessità di una attivazione termica che richiede alto dispendio di energia elettrica. I nuovi nanomateriali si possono applicare come fotocatalizzatori in una serie di processi quali la decontaminazione delle acque da inquinanti di varia natura, la produzione di idrogeno dall'acqua, la trasformazione di prodotti di scarto, come ad esempio la anidride carbonica in prodotti ad alto valore aggiunto quali metanolo, metano o urea. Inoltre sono stati testati con successo in una altra importante applicazione ovvero come sensori di gas (ossidi di azoto, idrogeno).

## Liquidi termovettori con sospensione di nanoparticelle per il raffreddamento di CPU all'interno dei data center



Il raffreddamento efficiente dei data center rimane una sfida cruciale nel contesto dell'aumento della domanda globale di energia. Il progetto è in fase avanzata e ha già visto la progettazione esecutiva di uno scambiatore di calore con l'applicazione dei fluidi termovettori ad alta conducibilità termica e a bassa viscosità, basati su una sospensione composta da un liquido di base comune e nanomateriali. Il miglioramento dell'efficienza energetica, non solo aiuta a ridurre i costi operativi, ma contribuisce anche significativamente alla riduzione delle emissioni di carbonio, rendendo i data center più ecocompatibili.

La prima fase del progetto, si esplicita nello studio di fattibilità per definire uno o più liquidi termovettori con sospensione di nanoparticelle con caratteristiche termofluidodinamiche interessanti per le applicazioni di raffreddamento di componenti elettronici. Sono state considerate nanoparticelle di diversa natura (ad esempio, ossidi metallici) in diversi tipi di liquidi base facilmente disponibili (come, ad esempio, acqua e glicole etilenico), analizzati grazie alla strumentazione acquistata nell'ambito del progetto. Questo ha permesso di generare fluidi caratterizzati da diversa polarità, viscosità e rapporto tra i componenti.

La seconda fase prevede l'impiego di detti fluidi negli scambiatori di calore, uno dei componenti di interesse per le aziende che si occupano di sistemi di raffreddamento di CPU all'interno di data center. Successivamente, sarà prevista una campagna estesa di misure per valutare le prestazioni dei nuovi fluidi termovettori. In questa fase, si riterranno fondamentali sia le tecniche termografiche utilizzabili grazie all'acquisto di una termocamera ad infrarossi all'interno del progetto, che gli algoritmi avanzati di elaborazione di immagini per l'ottimizzazione del fluido, in considerazione della particolare applicazione in esame.

Si prospetta un incremento significativo dell'efficienza di raffreddamento. Si ritiene che le nanoparticelle, inclusi gli ossidi metallici, in combinazione con diversi tipi di liquidi base come acqua e glicole etilenico, miglioreranno significativamente le proprietà termofisiche dei fluidi. Le aziende interessate potranno integrare questi nuovi fluidi nei loro processi: il fluido termovettore sarà applicato alla catena del cooling, con particolare riguardo agli scambiatori con microcanali, per incrementarne l'efficienza di raffreddamento complessiva. La scelta di utilizzare nanomateriali permette di migliorare significativamente le proprietà termiche del fluido rispetto ai liquidi tradizionali, limitando al contempo la resistenza al flusso grazie alla ottimizzazione della viscosità. Questo progetto mira, non solo ad ottimizzare il raffreddamento dei data center, ma anche a contribuire ad una riduzione generale del consumo energetico globale associato ai sistemi di scambio termico. L'implementazione di tali fluidi avanzati negli scambiatori di calore rappresenta un passo importante verso soluzioni sostenibili e più efficienti. Inoltre, la progettazione di scambiatori che ospitano tali fluidi, ha tenuto conto delle loro proprietà peculiari: la bassa viscosità che consente una minore resistenza all'avanzamento del flusso e l'alta conducibilità termica che permette un trasferimento di calore più efficace. Queste caratteristiche rendono i fluidi avanzati particolarmente adatti per applicazioni nei data center, dove la gestione efficace del calore è essenziale per il funzionamento continuo e affidabile delle apparecchiature.

### CONTATTI

Referente progetto: **Gianluca Vinti**  
E-mail: [gianluca.vinti@unipg.it](mailto:gianluca.vinti@unipg.it)  
Tel.: 3477027210



# BIOPOLIMERI BIODEGRADABILI PER PACKAGING INTELLIGENTE

Bionanocariche attive da risorse naturali

Technology Readiness Level



Flessibilità



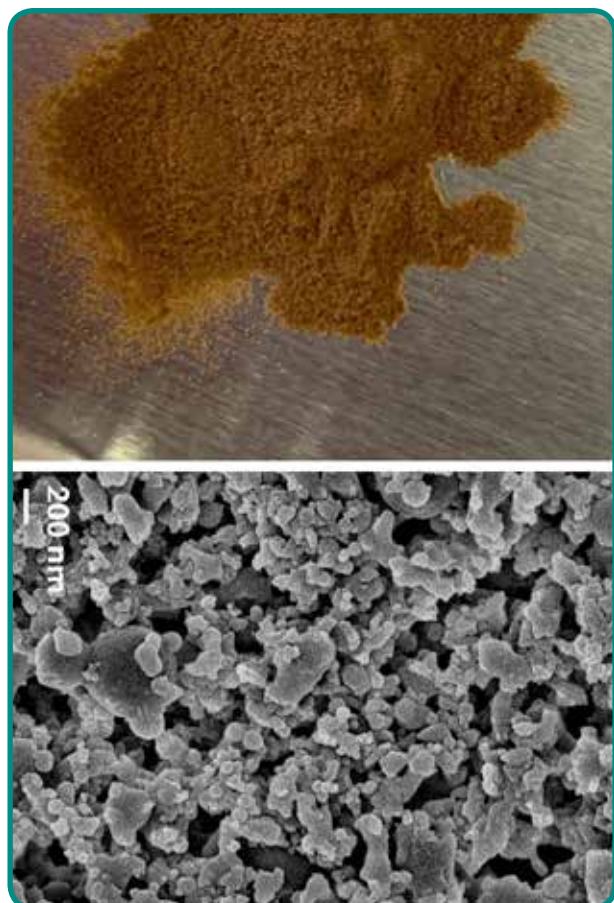
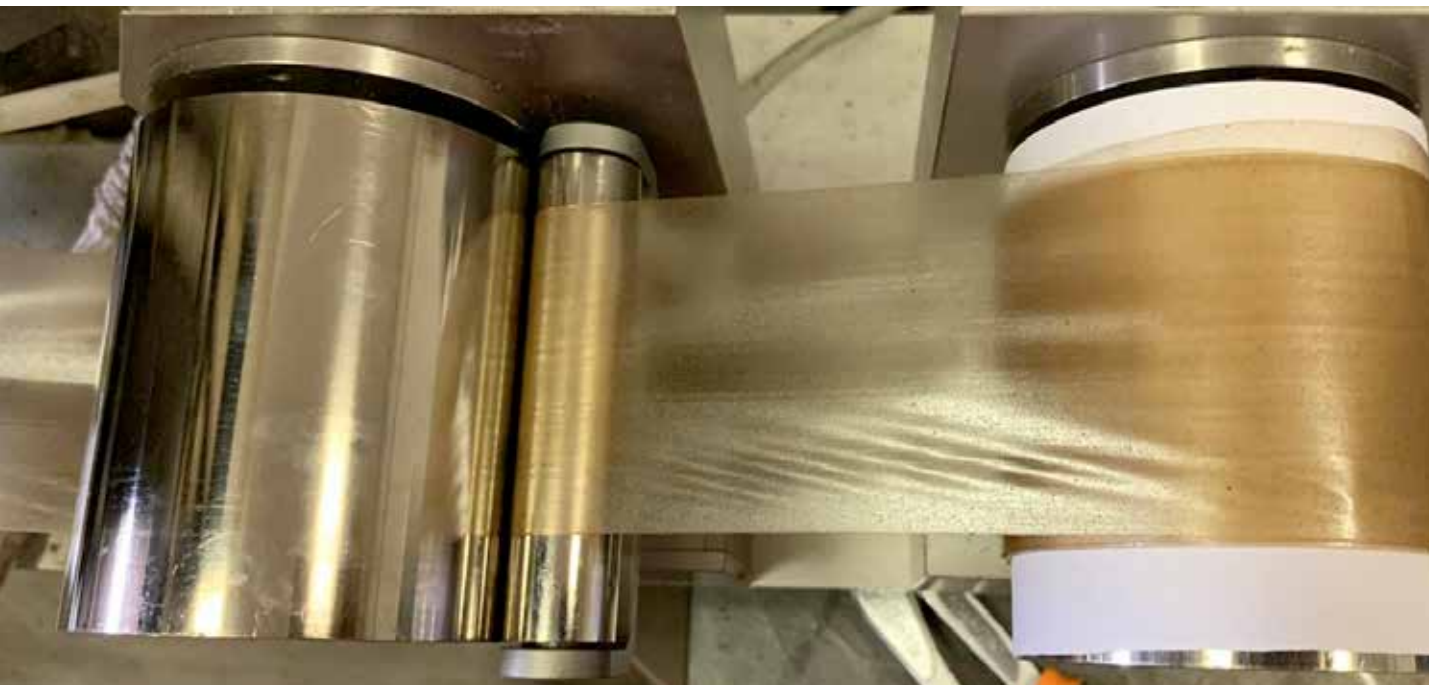
Resistenza UV



Azione antimicrobica



PRODOTTO



## MONOMATERIALE: LA SOLUZIONE ALTERNATIVA AL MULTISTRATO E AL METALLIZZATO

Il prodotto fornito è un film ottenuto partendo da biopolimeri a matrice biobased a base poliestere (quali l'acido polilattico, il polibutilene succinato, eventualmente furanoati) contenenti filler nanometrici ottenuti partendo da biomasse alimentari/agricole di scarto per la realizzazione di sistemi multifunzionali. Si intendono fornire un sistema di imballaggio a con proprietà comparabili a quelle dei benchmark esistenti, quali film polimerici multistrato, e film plastici metallizzati. Il film è ottenuto per via termica (estrusione e filmatura cast) e contiene nanoadditivi (cellulosa, lignina) estratti da biomasse di scarto mediante metodologie green (uso di DES, liquidi ionici, microonde) in grado di migliorare la performance (barriera, meccanica, termica, antibatterica) di biopolimeri o loro miscele.

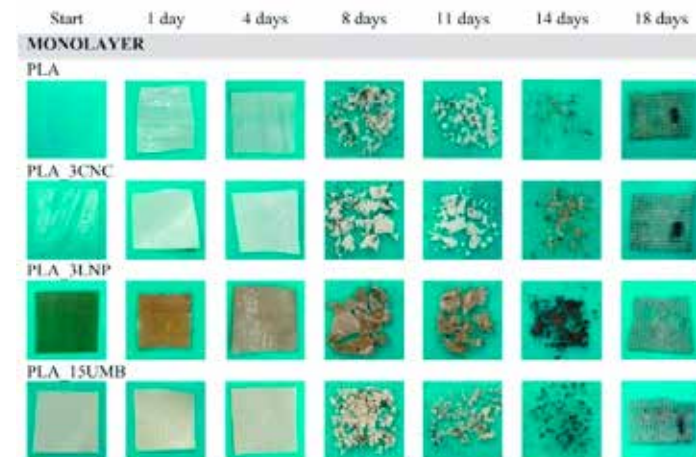


INDUSTRIA ALIMENTARE | AGRICOLTURA | COSMETICA | INDUSTRIA TESSILE

# Biopolimeri e nanoadditivi da scarti alimentari per gli alimenti



Data la crescente quantità di rifiuti agricoli/alimentari, la limitata performance dei polimeri biodegradabili di origine sintetica e la necessità di sostituire i polimeri tradizionali con alto impatto ambientale, è fondamentale pianificare strategie green atte alla soluzione di queste stringenti problematiche. Va quindi perseguita una progettazione ecosostenibile, mirando a sostituire materie prime critiche (plastiche tradizionali e quelle con connotazione di biodegradabilità, ma derivanti dal petrolio) con plastiche derivanti da biomasse di origine naturale, additivate con filler naturali nanostrutturati o sostanze attive, in grado di rendere intelligente gli imballaggi. Le plastiche biodegradabili rappresentano più del 51% (oltre 1,1 milioni di tonnellate) delle capacità produttive globali di bioplastiche e si prevede che la loro produzione aumenterà fino a oltre 3,5 milioni nel 2027, grazie al forte sviluppo di nuovi polimeri. Le bioplastiche sono utilizzate in un numero crescente di mercati: imballaggi, prodotti per la ristorazione, elettronica di consumo, automotive, agricoltura/oricoltura, giocattoli, tessili e molti altri segmenti. Il più grande segmento di mercato per le bioplastiche nel 2023 è stato quello degli imballaggi flessibili, seguito dagli imballaggi rigidi. Gli scarti agricoli o forestali sono, d'altro canto, abbondanti e non valorizzati, il che rende molto interessante lo studio di nuove possibilità di utilizzo, individuando quei prodotti di maggiore qualità e valore di mercato che possono essere ricavati da tali scarti e ridotti alla nanoscala. Le tecniche di estrazione verde, come l'estrazione assistita da microonde (MAE), l'estrazione assistita da ultrasuoni (UAE) rappresentano una opportunità reale per poter estrarre in maniera efficace componenti lignocellulosici, quali la cellulosa e la lignina, e ridurli alla nanoscala, esaltando in questo modo proprietà antibatteriche, antiradicali, di protezione dai raggi UV.



Tutti questi prodotti, recuperati con diverse procedure di estrazione, sono generalmente reinseriti nel ciclo come ingredienti alimentari, come addensanti, agenti leganti, zuccheri fermentabili per la distillazione di bevande alcoliche. Tuttavia, a causa della crescente consapevolezza ambientale, l'uso in applicazioni non alimentari sta diventando sempre più importante dal punto di vista tecnologico. In particolare, la parziale sostituzione dei polimeri sintetici convenzionali per applicazioni comuni e specifiche che richiedono biodegradabilità e un ciclo di vita sicuro (come nel caso degli imballaggi alimentari), con materiali provenienti da risorse rinnovabili, e principalmente da rifiuti, rappresenta un obiettivo di grande importanza. La limitata estensibilità, la protezione antiossidante e antimicrobica, il lento tasso di degradazione sono, a volte, fattori limitanti per l'uso delle sole biomateriali. Il prodotto realizzato ha caratteristiche tecnologiche equiparabili se non superiori ai prodotti multimateriale o multistrato presenti nel mercato (ridotta permeabilità ai gas, saldabilità), fine vita non impattante sull'ambiente, poiché si garantisce compostabilità e biodegradabilità anche in ambienti diversi dal suolo. L'introduzione nel film di materiali biobased garantisce bassi costi e sostenibilità, ma anche il preposizionamento del prodotto con barriere ridotte all'ingresso nel mercato. Il carico ambientale ed economico dei processi di estrazione, miscelazione e filmatura, già valutato, supporta la potenzialità commerciale di sviluppo di questo prodotto.

## CONTATTI

**Referente progetto: Debora Puglia**  
**E-mail:** [debora.puglia@unipg.it](mailto:debora.puglia@unipg.it)  
**Tel.:** 0744492916



# IDROGEL STAMPABILI IN 3D

Adatto per la realizzazione di phantom tissutali



PRODOTTO

Technology Readiness Level



Stampabilità



Economicità

Tissue phantoms

Reological properties



Incubation



DAPI



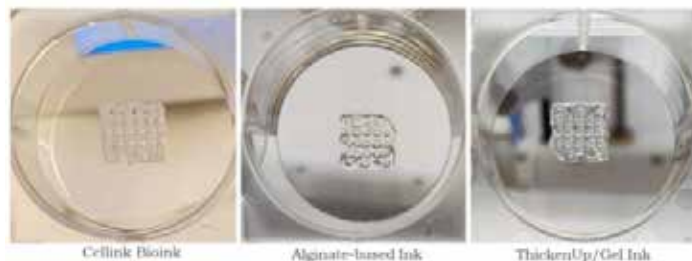
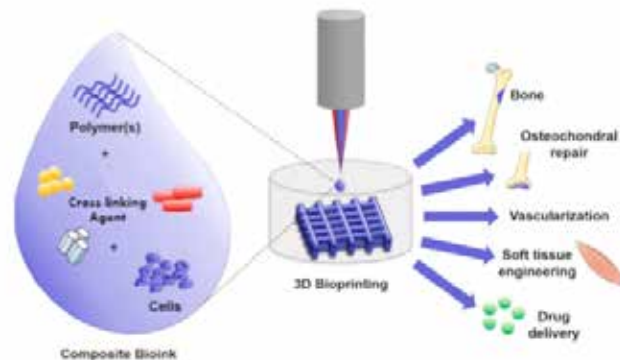
## IDROGELI BIOSTAMPATI IN 3D PER LA REALIZZAZIONE DI PHANTOM TISSUTALI

Il settore della biostampa ha visto progressi significativi nella lavorazione di idrogeli caricati con cellule. Molte ricerche si sono limitate all'uso dei bioinchiostri forniti dai produttori di stampanti, spesso molto costosi. Questa attività propone lo sviluppo di idrogeli stampabili in 3D economicamente vantaggiosi utilizzando polimeri naturali e biocompatibili (alginate di sodio, gomma di xantana e gelatina bovina) per lo sviluppo di phantom tissutali riducendo l'utilizzo di prodotti commerciali e garantendo una buona stampabilità, proprietà funzionali e strutturali di fondamentale importanza per la crescita cellulare. I phantom tissutali sono ampiamente utilizzati per la formazione a livello clinico. Sono anche molto utilizzati come modelli computazionali, per la pianificazione chirurgica, la verifica e la validazione degli algoritmi e per lo sviluppo di dispositivi medici.



## Phantom tissutali caricati con cellule

I modelli tissutali, detti anche phantom, sono stati ampiamente utilizzati per la formazione delle figure professionali in ambito medico. Sono anche molto utilizzati come modelli computazionali, per la pianificazione chirurgica, la verifica e la validazione degli algoritmi e per lo sviluppo di dispositivi medici. Tali applicazioni non solo possono emulare le strutture geometriche degli organi umani, ma possiedono anche le proprietà e le funzioni del tessuto che simulano. Con il rapido progresso delle tecnologie di stampa tridimensionale (3D) e di bioprinting 3D, è stato ampiamente esplorato l'utilizzo di queste tecniche di produzione additiva per fabbricare phantom tissutali funzionali per varie applicazioni: phantom di tessuti biologici stanno diventando di grande interesse nel campo dell'ingegneria dei tessuti, creando modelli di tessuti in vitro per comprendere meglio lo sviluppo dei tessuti stessi, i meccanismi di avanzamento di alcune patologie, per testare e selezionare farmaci, per studiare il comportamento dei tumori e la loro resistenza ai farmaci. L'obiettivo del progetto è sviluppare e testare idrogeli sviluppati utilizzando biomateriali economicamente vantaggiosi, con l'uso di tecniche visive e ottiche per valutare le proprietà della miscela, al fine di generare una libreria di biomateriali e bioscaffold da utilizzare su larga scala come phantom tissutali nel campo dell'ingegneria dei tessuti, nella ricerca biologica, nella ricerca sul cancro, nello sviluppo di farmaci e nella resistenza ai farmaci ed a fini didattici. L'acquisto di bioinchiostri ad alto costo può essere difficile da sostenere, limitando la portata degli esperimenti e delle ricerche scientifiche nel campo della biostampa 3D. Affrontare questi problemi è fondamentale per implementare la biostampa 3D sia nella ricerca che nelle applicazioni terapeutiche. Gli sforzi per semplificare il processo di produzione riducendo i costi e creando bioinchiostri più accessibili sono fondamentali per sbloccare il potenziale di questa tecnologia. Superare queste sfide non solo migliorerà la fattibilità della biostampa 3D, ma ne aumenterà anche l'impatto in vari campi, dalla ricerca alla medicina rigenerativa e altro ancora. Il settore della biostampa ha visto progressi significativi nella lavorazione di strutture a base di idrogeli caricati con cellule.



In precedenza ci si limitava all'uso dei bioinchiostri forniti dai produttori di stampanti, che spesso sono molto costosi. La presente attività propone lo sviluppo di idrogeli a basso costo caricati con cellule e stampabili in 3D utilizzando polimeri biocompatibili naturali (alginato, gomma xantana, gelatina bovina e collagene) per lo sviluppo phantom tissutali. Le proprietà reologiche, morfologiche e di crescita cellulare sono state valutate utilizzando un reometro, un microscopio a scansione elettronica (SEM) e un microscopio a luce invertita. In conclusione, le diverse caratteristiche studiate evidenziano il potenziale di questi costrutti stampati in 3D come strutture per la realizzazione di phantom tissutali. Questi phantom hanno un grande potenziale nel campo educativo in medicina, biologia, biotecnologia, bioingegneria, scienza dei materiali, farmacologia e altri settori. La disponibilità di phantom tissutali preparati con materiali a basso costo, renderebbe possibile l'introduzione di attività pratiche per gli studenti in questa nuova ma importante area di ricerca. L'utilizzo di phantom tissutali potrebbe consentire agli studenti di confrontarsi con una nuova tecnologia, al momento poco conosciuta a causa degli alti costi delle cartucce di bioinchiostri disponibili in commercio. La possibilità di creare una libreria di questi materiali, classificati in base alla composizione e alle proprietà, consentirebbe di dimostrare praticamente a una futura generazione di ricercatori cosa significa stampare in 3D ed applicare le potenzialità di questa tecnologia in diversi ambiti di ricerca.

### CONTATTI

**Referente progetto: Alida Mazzoli**

**E-mail:** [a.mazzoli@univpm.it](mailto:a.mazzoli@univpm.it)

**Tel.:** 0712204290

# CATALISI OSSIDATIVA PER LA DECOLORAZIONE DELLA LIGNINA



Adatto alla preparazione di coadiuvanti naturali di filtri per la protezione solare (booster SPF)



Technology Readiness Level



Colore chiaro



Assorbimento UV



Eco-compatibile



Origine naturale



## SEMPLICE, EFFICACE, SOSTENIBILE E BIO-COMPATIBILE!

Il progetto è finalizzato alla messa a punto di una metodica di decolorazione della lignina utilizzando catalizzatori disponibili in commercio ed ossidanti "green". La reazione può essere accelerata da varie fonti energetiche, tra le quali la foto-attivazione sembra essere quella più vantaggiosa e semplice da utilizzare. Sulla base delle prime analisi spettroscopiche il prodotto che abbiamo ottenuto mostra una forte diminuzione dell'assorbimento nel range delle radiazioni visibili, parziale delle UV-A, mantenendo un ottimo assorbimento nello spettro ultravioletto B (UV-B), senza perdere la struttura principale del biopolimero. I dati ottenuti ne suggeriscono un potenziale utilizzo in campo cosmetico in particolare come booster di origine naturale di filtri per la protezione solare (SPF).

COSMETICA



## Lignina decolorata per applicazioni in campo cosmetico



La lignina è un biopolimero organico che conferisce sostegno a diversi tessuti vegetali e rappresenta uno dei sottoprodotti principali nel processo di produzione della carta. Il progetto da noi sviluppato parte dalla lignina Kraft, ottenuta attraverso un metodo industriale di estrazione chimica che prevede un trattamento alcalino della cellulosa dal legno, da cui si ottiene la polpa di cellulosa e la lignina come scarto. Si stima una produzione annua di circa 50-70 milioni di tonnellate di questa biomassa che per il 97% viene bruciata per recuperare calore. La sua valorizzazione nella produzione di nuovi biomateriali ad alto valore aggiunto rappresenta un esempio virtuoso di economia circolare.

La letteratura dimostra come il polimero della lignina possieda caratteristiche peculiari foto-assorbenti grazie alla presenza di numerosi cromofori aromatici che rappresentano la maggior parte dei blocchi costitutivi del polimero.

Tuttavia, l'efficacia della lignina come componente chiave nella produzione sostenibile di prodotti per la protezione solare è fortemente limitata dalla forte colorazione scura che non soddisfa le esigenze della maggior parte dei consumatori e dei produttori. Tale colorazione deriva in principal modo dalla presenza di cromofori chinonici prodotti durante i processi di estrazione e di purificazione. Al fine di poter immaginare un impiego della lignina in campo cosmetico è pertanto fondamentale migliorare l'idoneità cromatica del prodotto andando a rimuovere le componenti cromofore che assorbono nel visibile



e cercando di mantenere quanto più possibile i cromofori che invece conferiscono al biomateriale un assorbimento nel range dell'ultravioletto (UV-A e/o UV-B). Tale caratteristica è in grado di conferire al prodotto proprietà utili per un impiego come agente coadiuvante (booster) di filtri per la protezione solare (SPF).

Il protocollo ossidativo da noi messo a punto attraverso lo studio meccanicistico su alcuni composti modello prevede l'utilizzo di un catalizzatore selettivamente norganico commercialmente disponibile e l'uso di idrogeno perossido come ossidante green. L'ossidazione può essere attivata, aumentando l'efficacia del processo, attraverso l'utilizzo di differenti fonti energetiche. Attualmente è in corso uno studio comparativo tra luce bianca, UV, blu e verde.

I primi dati spettroscopici raccolti hanno messo in evidenza che il protocollo ossidativo è in grado di produrre un nuovo materiale la cui struttura principale, in base alla spettroscopia NMR (risonanza Magnetica Nucleare), rimane pressoché invariata, andando a rimuovere in maniera abbastanza selettiva i cromofori chinonici associati al colore bruno scuro. Gli spettri UV-Visibile confermano una diminuzione dell'assorbimento nella regione visibile, e dell'UV-A (solo in alcune condizioni) mentre rimane praticamente inalterato l'assorbimento nell'intero intervallo delle radiazioni ultraviolette UV-B. I raggi UV-B, pur essendo solo il 5% dei raggi solari che raggiungono la superficie terrestre, sono quelli più aggressivi, responsabili dell'abbronzatura ma anche di eritemi solari e scottature, reazioni allergiche, arrossamenti.

Lo studio mirerà anche a valutare la scalabilità del processo, l'efficacia del recupero e riuso del catalizzatore nonché l'impatto ambientale dello smaltimento dei prodotti di scarto della lavorazione.

### CONTATTI

**Referente progetto: Claudio Santi**

**E-mail:** [claudio.santi@unipg.it](mailto:claudio.santi@unipg.it)

**Tel.:** 0755855106



# BIOMATERIALI IN MICROCOSMI

Valutazione del microbiota del suolo in presenza di biomateriali



Technology Readiness Level



Colore chiaro



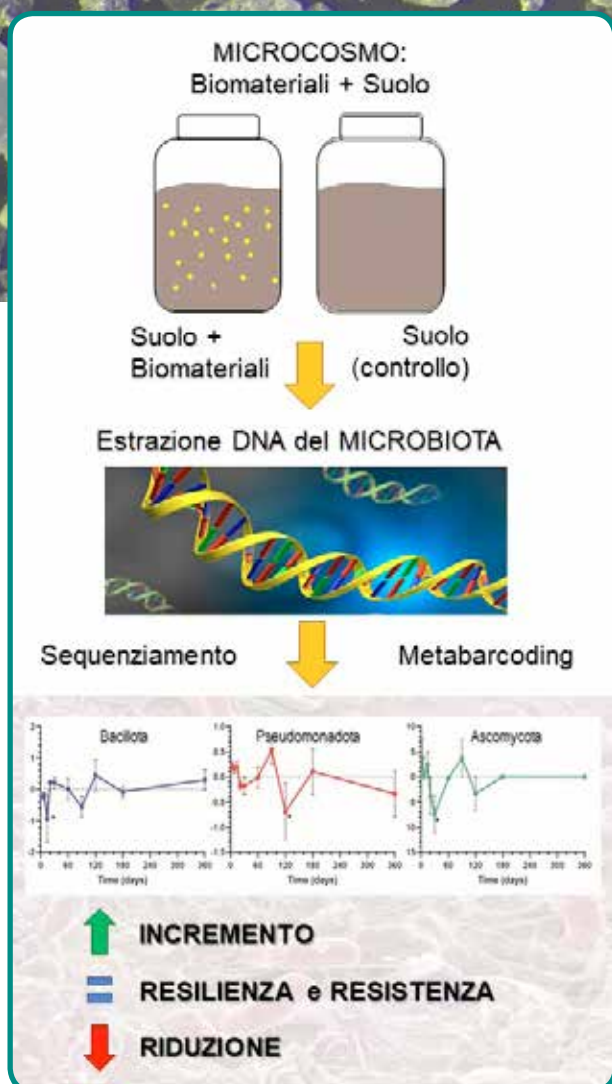
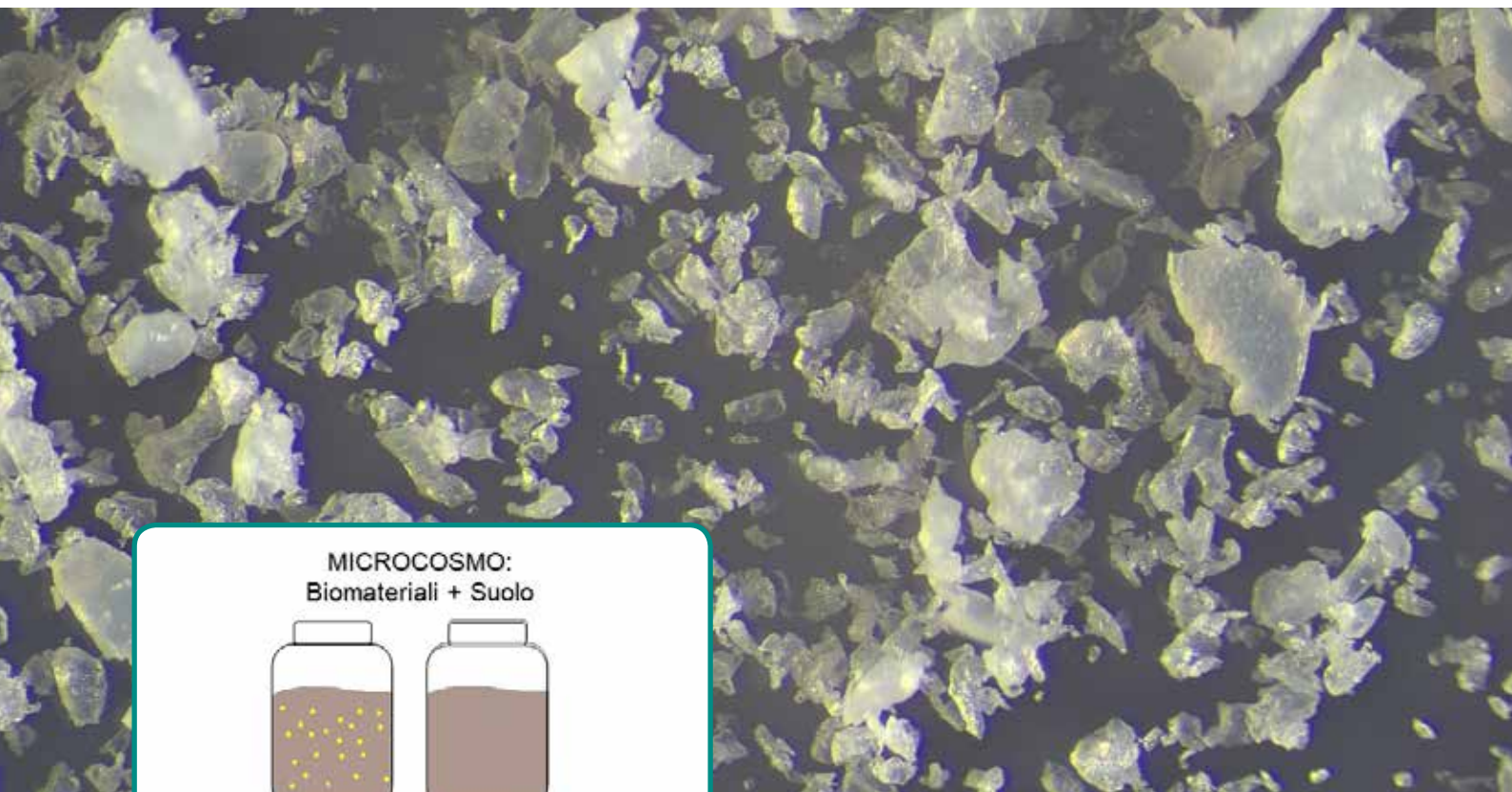
Assorbimento UV



Eco-compatibile



origine naturale



## VALUTAZIONE DEL MICROBIOTA DEL SUOLO

Negli ultimi anni sono stati introdotti sul mercato nuovi materiali plastici biodegradabili (bioplastiche, certificati secondo gli attuali standard UE) che presentano prestazioni paragonabili a quelle ottenute con le tradizionali plastiche sintetiche. Alla fine del ciclo vitale possono essere addizionate ai materiali organici per la produzione di compost, usati come ammendante nel suolo, o direttamente incorporate nel suolo come nel caso dei film pacciamanti. Nel suolo le bioplastiche vengono degradate dalle comunità microbiche residenti. Sebbene la presenza di bioplastiche nel suolo possa essere considerata una fonte di C, il loro effettivo ruolo nella salute del suolo è variabile e necessita di essere monitorato attraverso sistemi robusti, affidabili e flessibili (es. microcosmi).

AGRICOLTURA | AMBIENTE



## Valutazione del microbiota del suolo in microcosmi in presenza di biomateriali

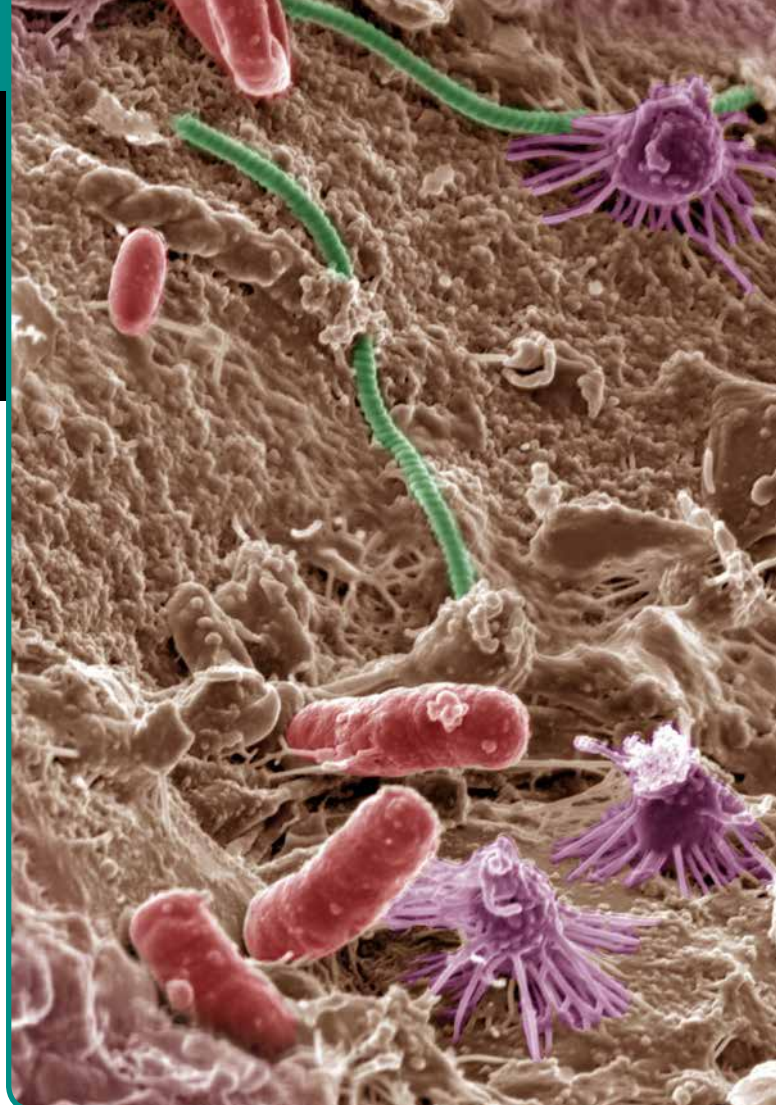
Il microbiota del suolo è alla base dell'attuazione dei cicli biogeochimici e definisce la presenza nel suolo di molecole più o meno complesse e utili allo sviluppo delle piante in esso coltivate (es. fissazione dell'azoto molecolare).

La degradazione delle bioplastiche nel suolo è influenzata dalle loro caratteristiche (ad esempio, la natura chimica e struttura polimerica, le condizioni di superficie, ecc.) e dall'effetto congiunto di fattori abiotici (ad esempio, la degradazione foto- e meccanica, temperatura, umidità, ecc.) e biotici (ad esempio, l'attività metabolica dei microrganismi del suolo, che possono degradare gli oligomeri rilasciando oligomeri più corti fino ad anidride carbonica, acqua e metano). Alcuni autori hanno riportato che la presenza di bioplastiche nel suolo può potenzialmente ridurre la biodisponibilità di azoto e fosforo e, di conseguenza, la struttura e l'attività delle comunità microbiche del suolo. Altri studi hanno riportato che un aumento a lungo termine del carbonio nel suolo, dovuto alla presenza di bioplastiche, può influire sulla respirazione del suolo e sulle attività enzimatiche, che sono considerate indicatori sensibili dei cambiamenti della qualità del suolo.

L'accumulo di bioplastiche nel suolo, proveniente dal compostaggio o ad esempio dall'incorporamento di film pacciamanti, può avere un impatto sui parametri biotici del suolo (struttura e attività metabolica del microbiota) incidendo potenzialmente sulla produzione agricola.

E' pertanto importante andare a definire come l'apporto di determinate tipologie o quantità di bioplastiche nel suolo agricolo possano incidere nella qualità biologica dello stesso e di conseguenza delle produzioni vegetali in esso coltivate.

Il servizio qui presentato permette di realizzare un quadro dettagliato dell'impatto a breve, medio e lungo termine (fino ad un anno) di una specifica tipologia o di una miscela di bioplastiche sul microbiota di suoli agricoli, utilizzando i microcosmi come ecosistemi modello.



Il servizio prevedrà:

- (I) il campionamento del suolo di interesse;
- (II) la creazione di microcosmi specifici che riproducano in laboratorio le reali condizioni ambientali;
- (III) l'aggiunta delle bioplastiche da testare;
- (IV) l'estrazione del DNA totale ad intervalli stabiliti;
- (V) il sequenziamento e l'analisi metabarcoding di due target microbici (funghi e batteri);
- (VI) l'analisi bioinformatica dei risultati ottenuti.

Singoli gruppi microbici, e a volte anche singoli generi o specie, hanno ruoli ben specifici nella salute e fertilità del suolo; la valutazione dell'andamento dei singoli gruppi microbici nel tempo permetterà di definire come le bioplastiche aggiunte al suolo, tal quali o come compost, possano avere un ruolo positivo, neutro o negativo sul microbiota del suolo e di conseguenza sui futuri cicli produttivi.

### CONTATTI

**Referente progetto: Benedetta Turchetti,**  
**E-mail:** [benedetta.turchetti@unipg.it](mailto:benedetta.turchetti@unipg.it)  
**Tel.:** 075.585.6487



# INCHIOSTRI A BASE DI NANOMATERIALI E PROTEINE

Elettrofilatura e stampa 3D di micro/nano-fibre

Technology Readiness Level



Proprietà  
meccaniche



Stampabilità



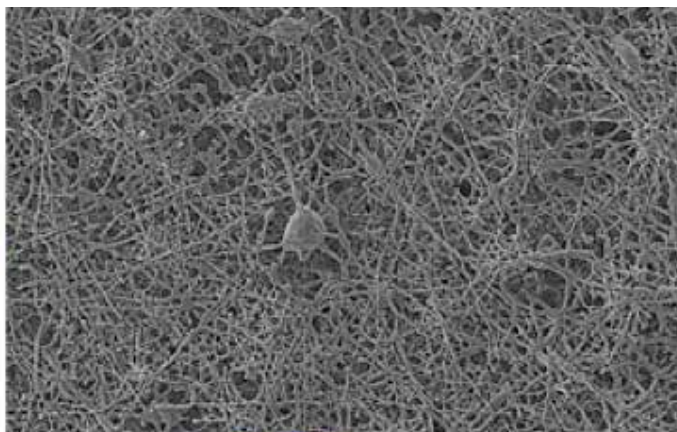
Azione  
antivirale  
e antibatterica



Materiali  
ionotrofici

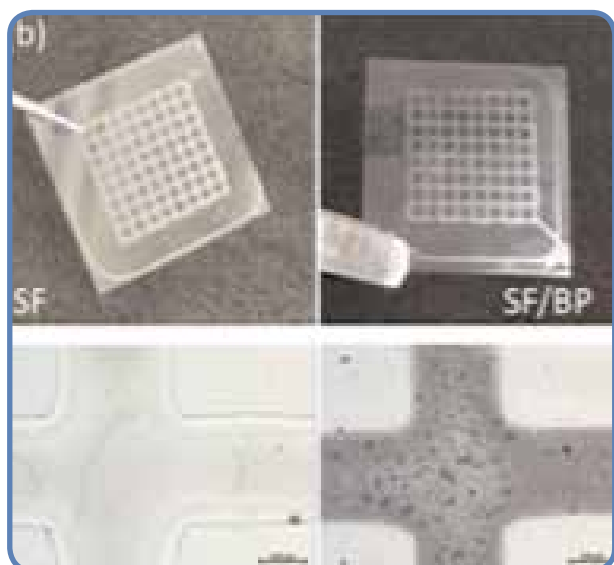


PRODOTTO



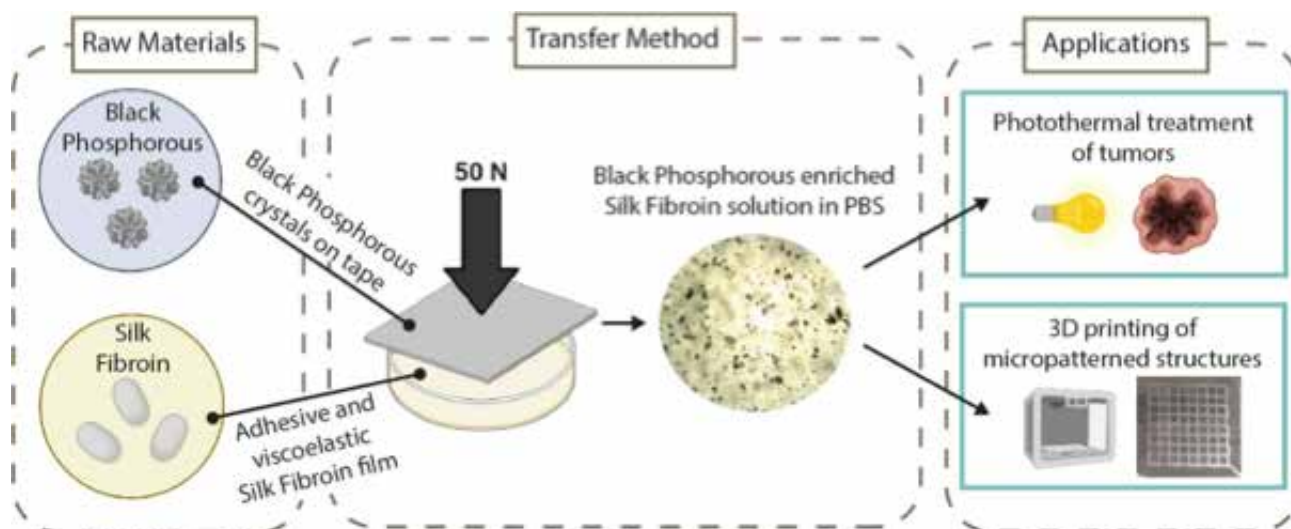
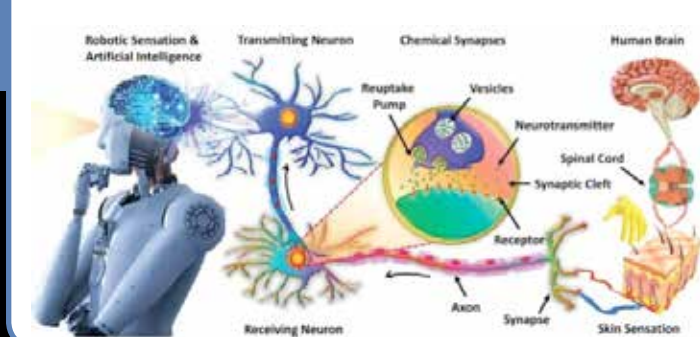
## INCHIOSTRI PROTEICI ELETTROFILATI O STAMPATI

La fibroina di seta è un proteina di origine naturale che è prodotta dalle ghiandole del baco da seta *Bombyx mori*. La sequenza ripetitiva di glicina, alanina e serina può essere ingegnerizzata in una struttura secondaria caratterizzata da micro domini cristallini detti foglietti  $\beta$ . Questi foglietti conferiscono alla fibroina tenacità e resistenza meccanica. Il comportamento viscoelastico consente il suo impiego in tecniche di manifattura additiva per la realizzazione di filati/architetture 3D ad elevata complessità. La possibilità di essere funzionalizzata con nano materiali la rende un materiale versatile per una bioelettronica integrata in dispositivi biomedicali senza provocare reazioni immunitarie significative.



AMBIENTE | COSMETICA | ELETTRONICA | INDUSTRIA TESSILE | SANITÀ

# La rivoluzione dei nanomateriali in fibre proteiche per un tessile di nuova generazione



I materiali intelligenti, noti anche come materiali smart o adattivi, rappresentano una classe innovativa di materiali che hanno la capacità di rispondere in modo controllato a stimoli esterni. Questi stimoli possono includere variazioni di temperatura, umidità, pH, campo elettrico, campo magnetico, luce, pressione e azioni meccaniche. La caratteristica distintiva di questi materiali è la loro capacità di modificare la propria geometria/struttura in risposta agli stimoli ricevuti, rendendoli particolarmente utili in una vasta gamma di applicazioni. Ciò che rende difficile un prodotto "ready to market" è la sostenibilità di questi materiali (costi di produzione, quantità, proprietà etc...) e il loro impiego in processi di trasformazione che attualmente sono pensati per materiali di origine sintetica. In questo contesto, il nostro prodotto nasce dalla possibilità di replicare in laboratorio, tramite l'ingegnerizzazione di proteine di origine naturale, il processo utilizzato in natura da alcuni insetti per produrre fibre polimeriche. Modificando le condizioni di pH, temperatura e concentrazione, siamo riusciti ad ottenere inchiostri proteici in solventi green che possono essere elettrofilati oppure stampati tramite manifattura additiva in una vasta gamma di geometrie. E' possibile ottenere tessuti in grado di schermare la radiazione UV e di autorigenerare il derma danneggiato. Questi inchiostri una volta modificati con nano materiali possono essere utilizzati come adesivi in grado di dissipare calore in circuiti stampati, oppure, come materiale biocompatibile, sono in grado di assorbire radiazione IR per ridurre la proliferazione di cellule cancerogene.

La produzione di pellicole auto-adesive può essere utilizzata per l'esfoliazione di nano materiali di differente composizione chimica per l'integrazione in dispositivi elettronici. E' stato dimostrato come il fosforene, un materiale 2D per l'elettronica di ultima generazione ma altamente instabile in aria, è in grado di preservare le proprietà elettroniche anche dopo alcuni mesi dall'esfoliazione in fibroina. L'estrusione per la stampa 3D consente di orientare la struttura secondaria delle proteine in un materiale semi-cristallino con proprietà piezoelettriche in grado di monitorare la motilità di tessuti o articolazioni. Questi inchiostri una volta stampati in 3D possono inoltre modificare il proprio volume per effetto dell'umidità o del pH consentendo di aggiungere la variabile tempo alle dimensioni. Ciò rende possibile ottenere materiali in grado di modificare la propria forma in maniera controllata. Siamo riusciti ad ottenere una "smart pill" in grado di aprirsi solo in alcune regioni dell'intestino che hanno un pH indicatore di una locale infiammazione.

## CONTATTI

### Referente progetto:

**Alessandro Paciaroni**

**E-mail:** [alessandro.paciaroni@unipg.it](mailto:alessandro.paciaroni@unipg.it)

**Tel.:** 0755852716 - 3483340319

**Luca Valentini**

**E-mail:** [luca.valentini@unipg.it](mailto:luca.valentini@unipg.it)

**Tel.:** 0744492924 - 3346153275



# STRATEGIE ANALITICHE NON-INVASIVE PER LA DEGRADAZIONE DELLA PLASTICA

Nuove soluzioni per l'industria

Technology Readiness Level



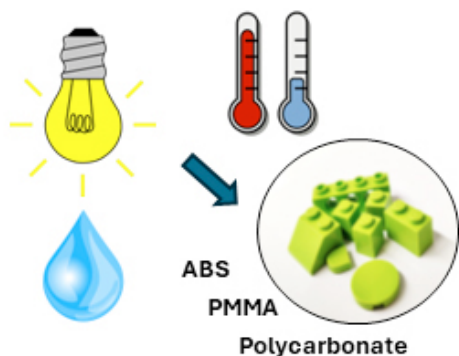
Solidità



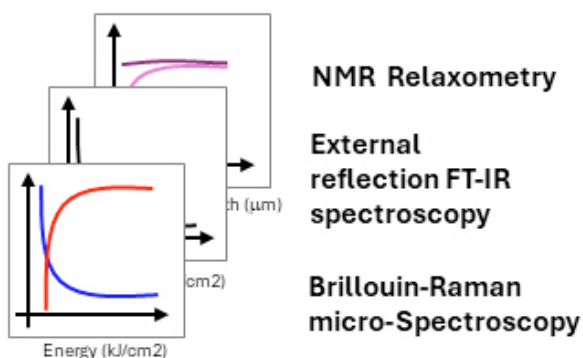
Flessibilità



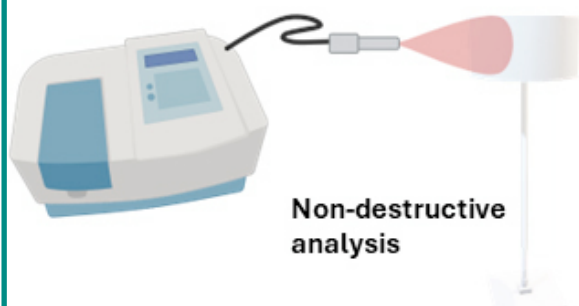
SERVIZIO



Aging due to environmental factors (light exposure, temperature, humidity)



Multi-spectroscopic approach to characterize degradation (SPADE)



In-situ monitoring of surface and sub-surface degradation

## SPADE: SPETTROSCOPIE DI SUPERFICIE E SUB-SUPERFICIE A SERVIZIO DELLE INDUSTRIE PLASTICHE

La produzione a livello globale di materie plastiche ha registrato una crescita drastica durante il XX secolo ed è tutt'oggi caratterizzata dall'introduzione costante di nuove formulazioni di polimeri alla ricerca di soluzioni innovative che siano sostenibili per risolvere il problema dei rifiuti di plastica.

Oggi, materiali sintetici e biopolimeri sono impiegati in un'ampia varietà di applicazioni che vanno dal packaging alla medicina, all'edilizia, all'elettronica, all'automotive e, in generale, sono indispensabili per la realizzazione di oggetti in molti settori produttivi, tra cui l'industria del design. C'è un grande interesse, pertanto, nell'impostazione di strategie analitiche in tutti questi campi di applicazione per studiare la durabilità a lungo termine dei materiali plastici e per definire marcatori per il rilevamento precoce del loro degrado.

AMBIENTE | EDILIZIA | ELETTRONICA | ENERGIA | INDUSTRIA ALIMENTARE  
INDUSTRIA CHIMICA | INDUSTRIA TESSILE | SANITÀ



## Una metodologia analitica versatile e non-invasiva per tutti i tipi di plastiche



Nei laboratori del CNR-SCITEC e CNR-IOM in collaborazione con UNIPG è stato sviluppato un approccio spettroscopico multi-tecnica integrato e non invasivo per la caratterizzazione delle proprietà chimiche e viscoelastiche di materiali plastici. Uno degli obiettivi primari della piattaforma analitica è la valutazione dei processi di degrado superficiale e sub-superficiale in funzione dei parametri ambientali di luce, umidità, temperatura e della presenza di additivi con diverse funzioni (pigmenti, plastificanti, antiossidanti, eccetera.). Lo studio del deterioramento della plastica riveste un'importanza fondamentale soprattutto per il rilevamento precoce del processo di decadimento. La sua deteriorazione può portare a una perdita significativa di funzionalità e valore estetico, oltre a potenziali impatti ambientali negativi. Le indagini precoci permettono di identificare i primi segni di degrado, che possono includere cambiamenti chimici e fisici a livello microscopico. Rilevando questi segni nelle fasi iniziali, è possibile intervenire tempestivamente per prevenire o mitigare ulteriori danni. Questo è particolarmente importante per oggetti di valore storico o culturale, come opere d'arte o manufatti in plastica conservati in musei, dove il deterioramento potrebbe comprometterne irrimediabilmente l'integrità e l'aspetto. Inoltre, la comprensione dei meccanismi di deterioramento della plastica consente di sviluppare materiali più duraturi e stabili, migliorando la progettazione e la produzione futura. Questo aspetto ha implicazioni ambientali significative. La plastica deteriorata può rilasciare microplastiche e sostanze chimiche nocive nell'ambiente, rappresentando una minaccia per gli ecosistemi e la salute umana. Indagini precoci aiutano a identificare e controllare queste emissioni, promuovendo pratiche di gestione dei rifiuti più sostenibili e sicure. Come banco di prova, la metodologia è stata utilizzata per esaminare il meccanismo di foto-ossidazione dell'acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS), una plastica ampiamente utilizzata in numerose applicazioni, impiegando mattoncini LEGO® a base di ABS come campioni modello.

Le alterazioni delle proprietà chimiche e viscoelastiche dell'ABS durante il fotoinvecchiamento sono state monitorate in simultanea, in modo non invasivo direttamente sulla superficie del campione, attraverso la micro-spettroscopia Brillouin e Raman (BRaMS) correlativa, che ha consentito misure coincidenti di scattering Brillouin (BLS) e di spettroscopia Raman grazie ad una configurazione strumentale di tipo micro-spettroscopico. Dati chimici complementari sono stati acquisiti tramite tecniche di spettroscopia implementate su strumentazioni portatili applicabili in-situ quali: la spettroscopia IR a riflessione esterna, la spettroscopia Raman, la rilassometria NMR e la spettroscopia Vis-NIR. Questo approccio spettroscopico multimodale integrato ha consentito la formulazione di un modello di degrado per l'ABS sulla base delle modifiche compositive e delle proprietà viscoelastiche risultanti dalla sua fotodegradazione.

La versatilità della metodologia analitica sviluppata consente il trasferimento dell'approccio allo studio chimico-fisico di qualsiasi tipo di materiale polimerico. L'assenza di campionamento per eseguire le misure permette di sondare le proprietà di un materiale in modo statisticamente significativo su più aree, dando l'opportunità di studiare anche oggetti di valore quali opere d'arte e di design in plastica per le quali è improponibile la raccolta di campioni. Inoltre, la sensibilità delle indagini spettroscopiche impiegate rispetto alle proprietà di superficie dei materiali permette di ottenere informazioni sui processi di trasformazione chimica e meccanica in corso nei primissimi strati esterni all'interfaccia con l'ambiente, prima ancora che essi si estendano manifestandosi in maniera macroscopica.

### Referente progetto:

**Francesca Rosi**

E-mail: francesca.rosi@cnr.it

**Lucia Comez**

E-mail: lucia.comez@cnr.it



# GEO-STRUTTURE ENERGETICHE INTEGRATE CON PCM A BASE DI GRAFENE

Efficientare la termo-attivazione delle opere in sotterraneo

Technology Readiness Level

Retrofitting energetico e strutturale



Sostenibilità

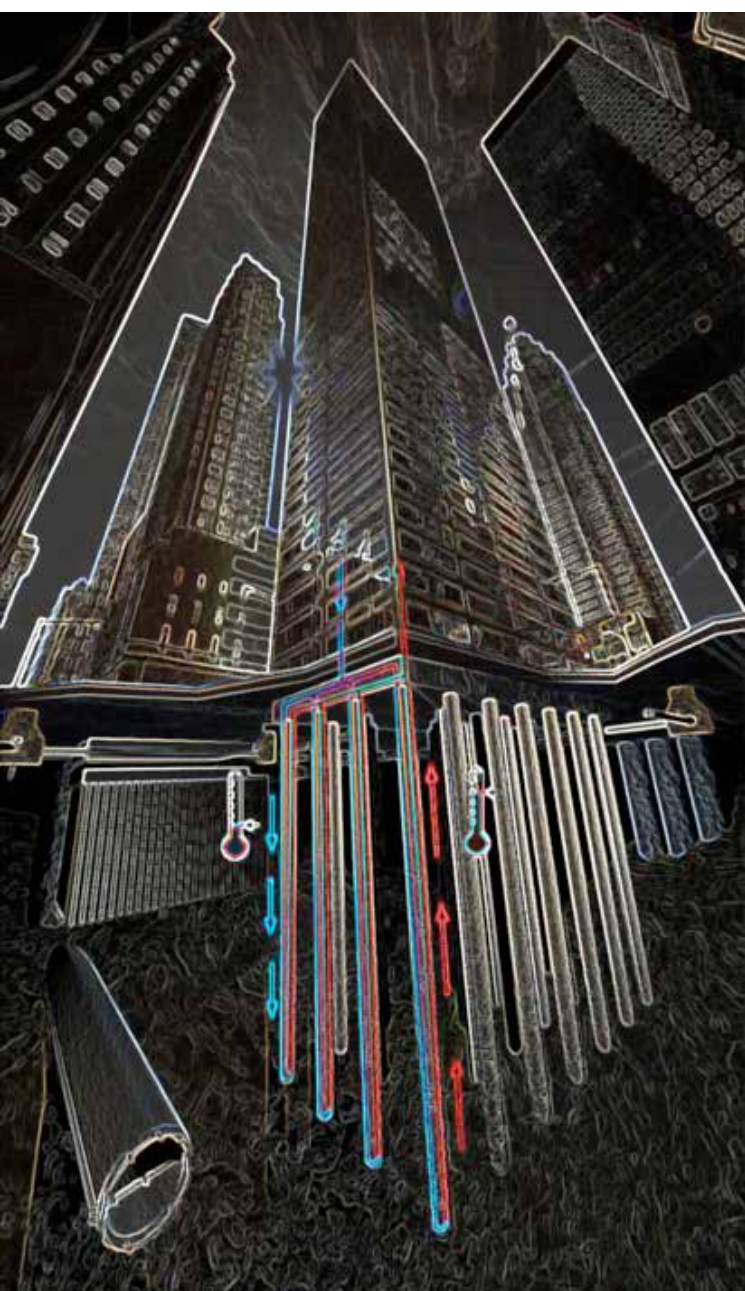


Efficienza energetica



PRODOTTO

**RINNOVARE IL CONCETTO DI STRUTTURA SOTTERRANEA DUPLICANDO LA SUA FUNZIONE**

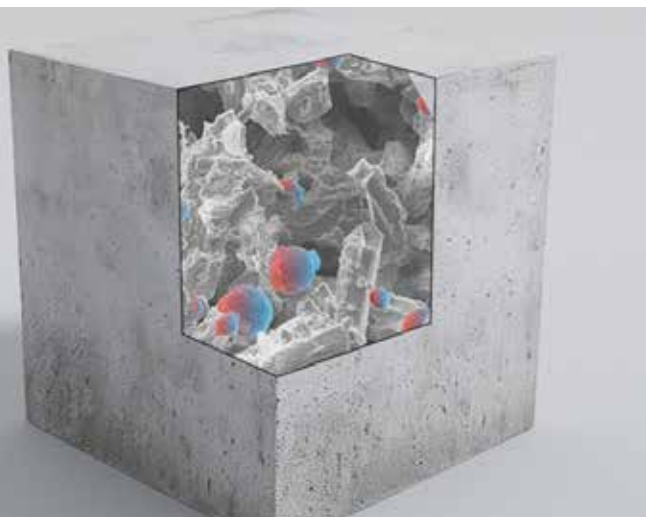


Nell'ambito della climatizzazione degli edifici, lo sfruttamento del calore superficiale terrestre (energia geotermica a bassa entalpia) è una soluzione promettente per affrontare la transizione energetica verso le fonti rinnovabili. Allo stesso modo, la capacità di immagazzinare il calore residuo sotterraneo durante l'estate, per poi recuperarlo in inverno (stoccaggio termico), comporta benefici sia ambientali che economici. Le Geo-strutture Energetiche (realizzate inserendo scambiatori di calore all'interno opere sotterranee come pali di fondazione, paratie di pali, e gallerie) permettono di combinare la tradizionale funzione strutturale di queste opere con quella di scambio termico con il terreno circostante. L'integrazione dei materiali a cambiamento di fase (PCM) modificati con grafene nelle Geo-strutture Energetiche costituisce una prospettiva interessante, migliorandone la funzione energetica, senza compromettere la loro funzione strutturale e preservandone le prestazioni meccaniche. Il vantaggio di tale approccio risiede nella possibilità di ottimizzare la funzionalità energetica di queste strutture con un investimento aggiuntivo relativamente modesto. Il PCM a base di grafene può essere inserito in diverse combinazioni, distribuito in varie forme, come archiviazione compatta o micro-incapsulamento. Ciò permette di avere diverse prestazioni energetiche attese nell'impiego delle Geo-strutture come elementi di scambio o stoccaggio termico.

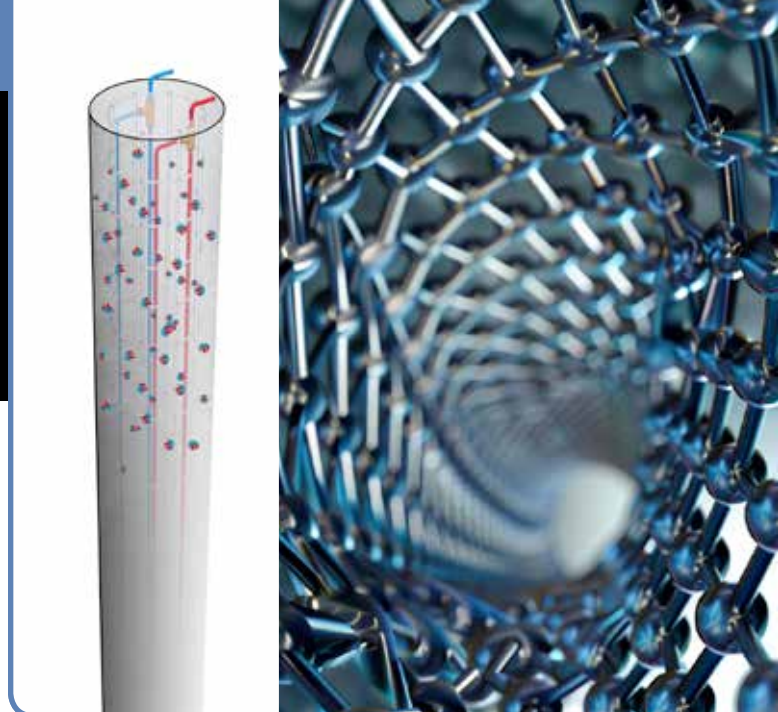
AMBIENTE | EDILIZIA | ENERGIA



## Integrazione dei materiali a cambiamento di fase (PCM) modificati con grafene nelle geostrutture energetiche



Un altro aspetto rilevante nell'ambito della climatizzazione sostenibile è la capacità di immagazzinare il calore residuo sotterraneo durante l'estate per poi recuperarlo in inverno, un processo noto come stoccaggio termico. Questo metodo comporta benefici sia ambientali che economici, poiché consente di utilizzare il calore in eccesso prodotto nei mesi più caldi per riscaldare gli edifici durante i mesi più freddi, riducendo così la necessità di ulteriori fonti di energia e migliorando l'efficienza complessiva del sistema. Le Geo-strutture Energetiche sono opere che combinano la funzione strutturale con il recupero di energia geotermica a bassa entalpia e possono essere realizzate mediante fondazioni profonde, gallerie e strutture di sostegno. L'integrazione di materiali a cambiamento di fase (PCM) modificati con grafene all'interno delle Geo-strutture Energetiche, rappresenta una prospettiva innovativa e interessante. I PCM modificati con grafene conferiscono una funzione energetica migliorata, senza compromettere il ruolo strutturale di queste opere e preservandone le prestazioni meccaniche. Grazie alla sua elevata conducibilità termica e capacità di migliorare la stabilità dei PCM, il grafene può contribuire a rendere i sistemi di riscaldamento e raffreddamento più efficienti dal punto di vista energetico. Il vantaggio principale di questa tecnologia risiede nella possibilità di migliorare la funzionalità energetica delle Geo-strutture con un investimento aggiuntivo relativamente modesto.



In altre parole, le opere in sotterraneo che già esistono o che devono essere costruite per scopi strutturali possono essere utilizzate anche come sistemi di scambio e stoccaggio termico ad efficienza migliorata grazie ai PCM a base di grafene, massimizzando così l'uso delle risorse e riducendo i costi complessivi.

Il PCM a base di grafene può essere inserito in diverse combinazioni e distribuito in varie forme, come archiviazione compatta o micro-incapsulamento. Questo consente di adattare le prestazioni energetiche attese in base alle specifiche esigenze dell'impiego delle Geo-strutture Energetiche. Ad esempio, il micro-incapsulamento permette una maggiore superficie di scambio termico, migliorando l'efficienza del processo di immagazzinamento e rilascio di calore. Inoltre, l'archiviazione compatta consente di ottimizzare lo spazio disponibile, rendendo possibile l'integrazione dei PCM in una varietà di strutture senza alterarne significativamente la configurazione.

In conclusione, l'uso dei PCM modificati con grafene nelle Geo-strutture Energetiche rappresenta una strategia efficace e innovativa per migliorare la sostenibilità e l'efficienza energetica degli edifici. Questa tecnologia non solo contribuisce a ridurre l'impatto ambientale delle attività umane, ma offre anche significativi vantaggi economici, rendendo più conveniente la transizione verso fonti di energia rinnovabile e sostenibile.

### CONTATTI

Referente progetto: **Diana Salciarini**  
E-mail: [diana.salciarini@unipg.it](mailto:diana.salciarini@unipg.it)  
Tel.: 3384211837



# ANALISI AVANZATA DELLE PROPRIETÀ TERMO-OTTICHE DEI MATERIALI

Valutazione spettrale e dinamica per il controllo del surriscaldamento superficiale

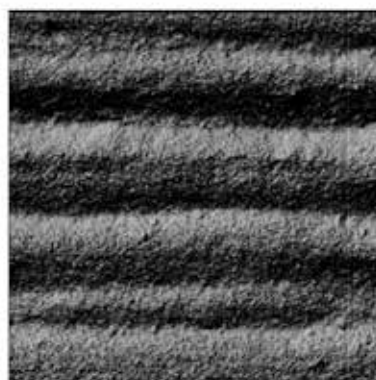
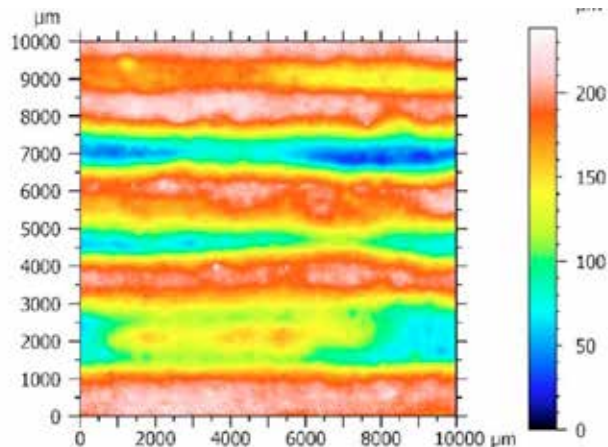
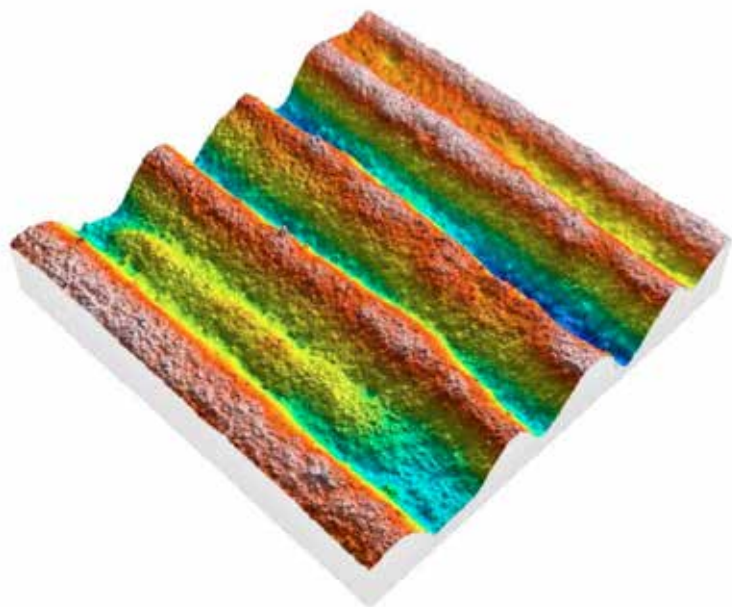
Technology Readiness Level

Analisi spettrale

Elevata riproducibilità

Affidabilità

Analisi in condizioni reali



## PROTOCOLLO INNOVATIVO PER MATERIALI RAFFREDDANTI

Il servizio riguarda un protocollo di caratterizzazione affidabile, validato e ad alte prestazioni, che promuove l'innovazione e lo sviluppo di materiali sostenibili per la mitigazione del surriscaldamento urbano. Questo nuovo protocollo standardizza la valutazione dei materiali, inclusi quelli con prestazioni selettive, facilitando la comparabilità dei risultati e valorizzando gli sforzi industriali nel settore. È lo strumento ideale per valutare il reale potenziale di raffreddamento di qualsiasi superficie e comunicare efficacemente i risultati al pubblico, grazie all'utilizzo di proprietà fisiche universalmente riconosciute e alla valutazione delle prestazioni in condizioni reali, sia in un ambiente controllato che all'interno di edifici prototipo dedicati.

AMBIENTE | EDILIZIA | ENERGIA



# Soluzioni sostenibili per la mitigazione del surriscaldamento superficiale

Attraverso il protocollo proposto, si potranno caratterizzare in modo esaustivo le proprietà ottiche e termiche di qualsiasi tipo di materiale per il raffreddamento superficiale, incluse le soluzioni di raffreddamento radiativo adattivo, in diverse gamme di lunghezze d'onda e condizioni al contorno. Il processo di caratterizzazione utilizzerà diverse tecniche spettroscopiche e di monitoraggio su larga scala per raggiungere i suoi obiettivi, tra cui:

## 1. Analisi termo-ottica

- Profili di emittanza in termini di radiazione a onda lunga (2.5 – 20  $\mu\text{m}$ ): Le misurazioni vengono effettuate utilizzando un PerkinElmer Spectrum 3 NIR/MIR/FIR equipaggiato con una sfera integratrice PIKE con coating in oro da 7,6 cm di diametro, a diverse temperature nel range 0-60°C. Per tener conto dell'effetto della radiazione termica ambientale, viene utilizzata una procedura di indagine in quattro fasi, che prevede due misurazioni sul campione di riferimento e due sul campione investigato.

- Profili di riflettanza in termini di radiazione a onda corta (0.25 – 2.5  $\mu\text{m}$ ): Le misurazioni vengono effettuate utilizzando uno spettrofotometro UV/VIS/NIR equipaggiato con una sfera integratrice da 15 cm di diametro, a diverse temperature nel range 0-60°C. Si impiega una procedura di indagine simile a quella sopra descritta, con due misurazioni sul campione di riferimento e due sul campione investigato.

## 2. Analisi della superficie

La morfologia superficiale dei campioni viene investigata con un profilometro ottico modello Nanovea JR25 con tecnologia Confocale Cromatica equipaggiato con penne ottiche Sentech STIL e lenti cromatiche. Il metodo di scansione considera intervalli massimi di 20 mm × 20 mm (per l'area superficiale) e 0,3 - 3 mm (per l'altezza).

## 3. Monitoraggio della temperatura superficiale in condizioni ambientali controllate

I campioni vengono collocati su un supporto in polistirene estruso per evitare la conduzione del calore ed esposti a cicli igrotermicamente controllati all'interno di una camera climatica controllabile in termini di temperatura, umidità relativa e irraggiamento solare (modello ASC DM340SR o UD150C SR equipaggiata con un simulatore solare BF SUN



1200W). La camera consente di riprodurre sia condizioni statiche che variabili con lo scopo di riprodurre le condizioni climatiche giornaliere caratterizzanti un qualsiasi clima di interesse. Durante il test, ogni campione viene monitorato utilizzando almeno tre termocoppie e un sistema di acquisizione dedicato che raccoglie dati con un intervallo di 10 secondi.

## 4. Monitoraggio della temperatura superficiale e del flusso termico in un edificio caso studio reale

Il materiale analizzato sarà utilizzato per rivestire le superfici esterne di una o più pareti di uno di due edifici prototipo con le stesse caratteristiche geometriche e parametri termo-energetici (come trasmittanza dell'involucro e capacità termica). Completata l'installazione, si condurrà monitoraggio continuo di parametri interni ed esterni influenzati dalla presenza di diverse tipologie di involucro e dalle sue finiture superficiali, con particolare attenzione alle temperature superficiali interne ed esterne e al flusso termico passante attraverso l'involucro dell'edificio.

## CONTATTI

**Referente progetto: Anna Laura Pisello**

**E-mail:** [anna.pisello@unipg.it](mailto:anna.pisello@unipg.it)

**Tel.:** 3396927839



# VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI MATERIALI FOTOLUMINESCENTI

Un protocollo completo in tre fasi

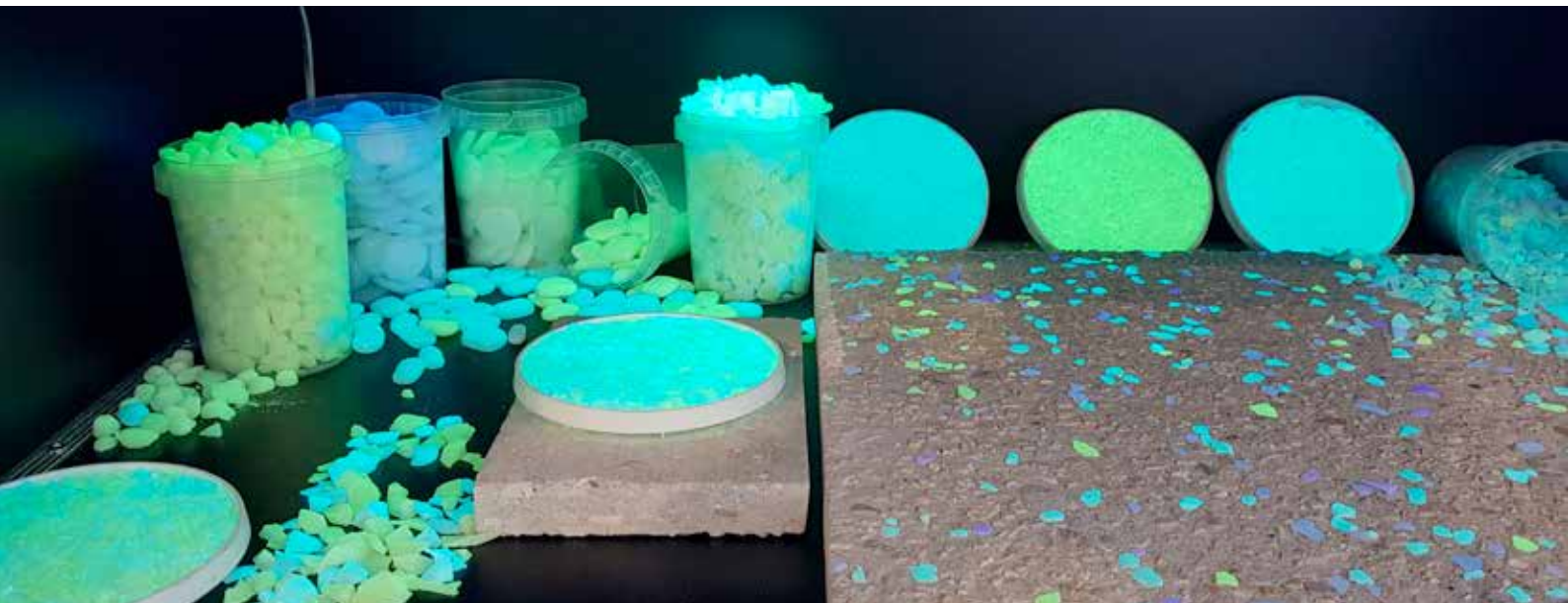
**Technology Readiness Level**

**Analisi  
spettrale**

**Elevata  
riproducibilità**

**Affidabilità**

**Analisi in  
condizioni reali**



## IL RUOLO DELLA FOTOLUMINESCENZA NELLA MITIGAZIONE DEL SURRISCALDAMENTO SUPERFICIALE E NELL'ILLUMINAZIONE

Il protocollo valuta le prestazioni di materiali fotoluminescenti per illuminazione e mitigazione del surriscaldamento superficiale ed è suddiviso in tre fasi, distinte. Nella fase iniziale, si utilizza uno spettroradiometro per analizzare sorgenti di eccitazione e campioni fotoluminescenti sotto illuminazione artificiale e solare. Si determina il tempo di carica ottimale e si monitora il decadimento della fotoluminescenza. Successivamente, si misura il flusso luminoso emesso dai materiali fotoluminescenti con un sistema composto da una sfera integratrice e uno spettroradiometro. Infine, si effettua una campagna di monitoraggio estensiva su campi sperimentali all'aperto equipaggiati con strumenti di monitoraggio atti a valutare l'effetto di surriscaldamento superficiale.

AMBIENTE | EDILIZIA | ENERGIA



# Analisi multiscala e multi-obiettivo della fotoluminescenza



Questo protocollo innovativo mira a valutare le caratteristiche di emissione dei materiali fotoluminescenti, sia per applicazioni di illuminazione che per la mitigazione del surriscaldamento delle superfici. Si compone di tre fasi principali, eseguibili anche separatamente: la prima valuta le proprietà spettrali di emissione, la seconda analizza il flusso luminoso emesso, e la terza quantifica le performance termo-ottiche in applicazioni outdoor reali.

**Step 1: Analisi della distribuzione della radianza spettrale e della luminanza totale**

Interazione con radiazione artificiale: si esamina l'emissione fotoluminescente in termini di distribuzione della radianza spettrale e luminanza totale emessa. Utilizzando uno spettroradiometro JETI Specbos 1211UV, vengono analizzate sia le sorgenti di eccitazione che i campioni fotoluminescenti. I campioni sono esposti a illuminazione artificiale con variazioni nella lunghezza d'onda di eccitazione e nell'intensità. Per ciascuna combinazione campione-sorgente, si determina il tempo di carica ottimale. Successivamente, si monitora il decadimento della fotoluminescenza post-esposizione, calcolando i tempi di decadimento in conformità con le norme DIN 67510-1.

Interazione con radiazione solare: il protocollo valuta l'interazione tra i campioni e la radiazione solare utilizzando un simulatore solare BF SUN 1200 W e una camera climatica ATT DM340SR. Le condizioni di temperatura, umidità relativa e radiazione solare sono selezionate per replicare le condizioni tipiche estive e invernali, basandosi su dati meteorologici di interesse.

**Step 2: Analisi del Flusso Luminoso Spettrale ( $0.25 - 1.0 \mu\text{m}$ )**

Un sistema innovativo, composto da una sfera integratrice di 30 cm di diametro e uno spettroradiometro sviluppato nell'ambito del progetto HELIOS-ERC finanziato dall'UE, misura il flusso luminoso emesso dai materiali fotoluminescenti. Vengono considerate diverse sorgenti di eccitazione e intensità, incluso un simulatore solare nell'intervallo di  $200-1400 \text{ W/m}^2$ .

**Step 3: Campagna di Monitoraggio Outdoor Estensiva**

Una campagna di monitoraggio outdoor è condotta in situ su campi sperimentali all'aperto ( $4 \times 4 \text{ m}^2$ ), progettati secondo la metodologia ASTM E1918 (ASTM, 2006). Ogni campo è dotato di un piranometro orientato a sud a un'altezza di 0.5 m, per valutare la radiazione a onde corte riflessa; un sensore di temperatura superficiale installato all'angolo interno di un quadrato fittizio di  $1 \times 1 \text{ m}$ , con due bordi sovrapposti ai confini nord ed est di ciascun campo; i profili di temperatura dell'aria e umidità relativa al centro di ciascun campo a un'altezza di 0.5 m per verificare l'estinzione degli effetti di surriscaldamento superficiale. Una stazione meteorologica completamente attrezzata, situata nello stesso edificio universitario, fornisce i dati meteorologici e il profilo radiativo in entrata.

## CONTATTI

**Referente progetto: Anna Laura Pisello**

**E-mail:** [anna.pisello@unipg.it](mailto:anna.pisello@unipg.it)

**Tel.:** 3396927839



# APPROCCIO MULTITECNICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Spettroscopie ottiche e machine learning per i materiali complessi

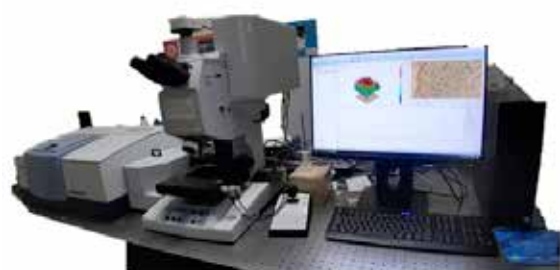
Technology Readiness Level

Analisi  
spettrale

Elevata  
riproducibilità

Affidabilità

Analisi in  
condizioni reali



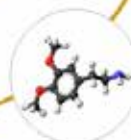
AI & Machine  
Learning



Brillouin  
Spectroscopy



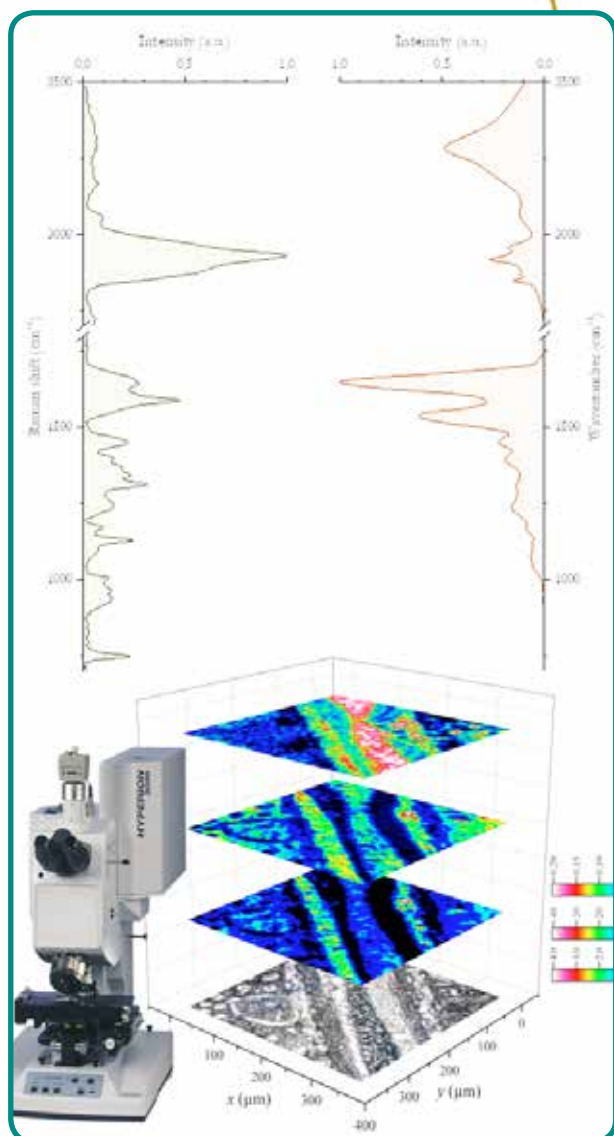
FT-IR  
Spectroscopy



Raman  
Spectroscopy

## MAPPATURA CHIMICA E MECCANICA DEI BIOMATERIALI

Approccio integrato alla caratterizzazione dei materiali mediante tecniche spettroscopiche e di machine learning. L'obiettivo è quello di monitorare le proprietà composizionali, strutturali e meccaniche di materiali complessi in ogni fase del processo di realizzazione. A questo scopo l'indagine viene condotta utilizzando metodologie diverse che permettono l'analisi del materiale fino alla scala micrometrica, riproducendone l'immagine chimica, oltre che morfologica, con estremo dettaglio. Ciascuna di queste tecniche di micro-spettroscopia risulta non-distruttiva, non richiede il contatto o l'utilizzo di marcatori che potrebbero alterare la morfologia e la composizione dell'oggetto di studio. L'analisi veloce e selettiva viene quindi integrata da un processo di correlazione dei dati che utilizza strumenti computazionali avanzati di machine learning, consentendo così di fornire un quadro completo e dettagliato delle caratteristiche del materiale, che sia esso di origine biologica (cellule, tessuti), o di sintesi.



## Tecniche di micro-spettroscopia per un'analisi ad "ampio spettro"

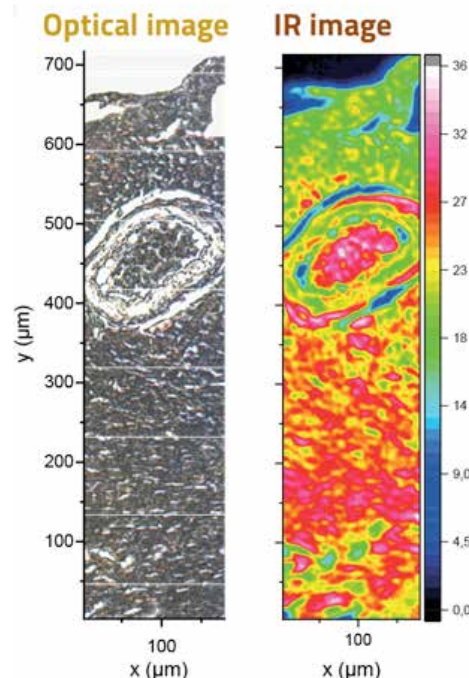
Nell'era moderna, la tecnologia avanza a un ritmo vertiginoso, richiedendo soluzioni sempre più sofisticate e materiali innovativi per soddisfare le crescenti esigenze dei vari settori. L'attenzione si sta sempre più concentrando sui materiali smart, ovvero materiali intelligenti che rispondano in modo dinamico ai cambiamenti ambientali e alle sollecitazioni esterne, adattandosi e migliorando le prestazioni dei dispositivi in cui vengono utilizzati.

I materiali smart sono progettati per rispondere a stimoli specifici come luce, temperatura, pressione, umidità, e campi elettrici o magnetici. Questi materiali trovano applicazioni in una vasta gamma di settori, dalla medicina all'elettronica, dall'energia alle costruzioni, e molto altro ancora. Per esempio, in medicina, i materiali smart possono essere utilizzati per creare sensori biocompatibili che monitorano in tempo reale i parametri vitali del paziente, o per sviluppare protesi intelligenti che si adattano al corpo umano migliorandone il comfort e la funzionalità.

Uno degli aspetti più affascinanti e complessi nella ricerca e nello sviluppo di nuovi materiali smart è la miniaturizzazione. Ingegnerizzare i dispositivi su scala micrometrica significa lavorare con dimensioni incredibilmente ridotte, dove le proprietà fisiche e chimiche delle sostanze possono risultare significativamente diverse da quelle osservabili su scala macroscopica.

I metodi spettroscopici svolgono un ruolo chiave sia negli studi fondamentali che in quelli applicati, permettendo di raccogliere informazioni sulle leggi fisiche che governano i fenomeni osservati, per comprendere e progettare lo sviluppo di nuovi materiali e la loro applicazione tecnologica. L'uso della radiazione elettromagnetica consente di indagare la composizione chimica della materia, la sua struttura atomica, le interazioni tra diversi atomi e gruppi molecolari, lo stato di ordine/disordine, le proprietà meccaniche, la dinamica e la cinetica delle reazioni. Questa indagine può riguardare le sostanze pure così come i sistemi costituiti da molti componenti, com'è il caso dei tessuti biologici, quelli biomimetici o i materiali compositi.

Il nostro gruppo di ricerca è in grado di mettere a punto un approccio altamente integrato per la caratterizzazione dei materiali complessi, dall'assemblaggio



all'applicazione, riunendo esperienze e competenze provenienti da diversi campi della spettroscopia ottica. I metodi utilizzati includono: la micro-spettroscopia Raman, la micro-spettroscopia Brillouin, l'imaging Infrarosso a Trasformata di Fourier (FTIR) e l'imaging di fluorescenza. Tutte queste tecniche di analisi offrono il vantaggio di essere non distruttive, non necessitano di contatto con il campione, non necessitano di marcatori (fa eccezione l'imaging di fluorescenza) e richiedono una quantità di materia estremamente ridotta. In tutti i casi la tecnica spettroscopica è abbinata all'analisi microscopica: questo permette di ricostruire non solo la morfologia del campione ma anche l'immagine chimica (fluorescenza, Infrarosso, Raman) e meccanica (Brillouin) dello stesso su una scala micrometrica.

Il gruppo di lavoro è anche in grado di mettere a punto metodi avanzati per correlare i risultati di diverse tecniche spettroscopiche tramite l'utilizzo di metodi chemometrici e di machine learning. Tali approcci correlativi consentono di superare le limitazioni di ciascuna tecnica presa singolarmente, sfruttando al massimo le potenzialità di ciascuna e offrendo una visione dettagliata e completa dell'oggetto di studio in tempi rapidi.

Questo approccio analitico integrato può essere di grande supporto ai processi di ottimizzazione dei materiali complessi, fornendo indicazioni preziose per lo sviluppo di nuove tecnologie.

### CONTATTI

**Referente progetto: Paola Sassi**

**E-mail:** [paola.sassi@unipg.it](mailto:paola.sassi@unipg.it)

**Tel.:** 0755855585



# RETE INTEGRATA UMBRA PER L'AGROMETEOROLOGIA

Un protocollo completo in tre fasi

Technology Readiness Level



Affidabilità dei dati  
Robustezza statistica



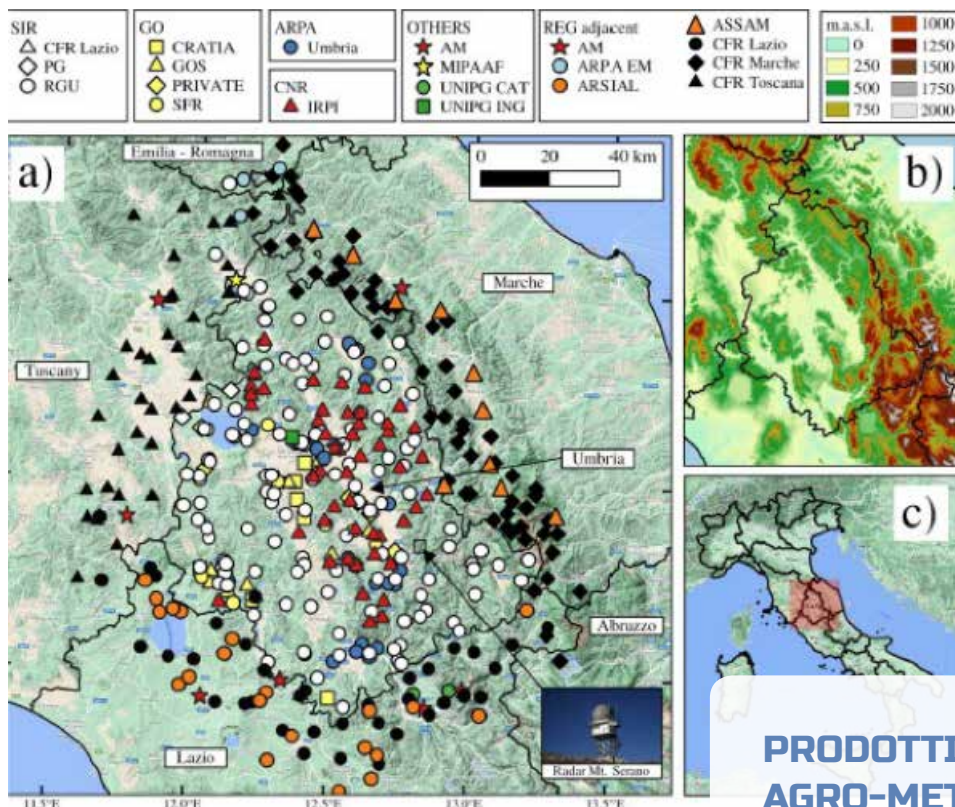
Misura  
indici climatici



utilizzo dati  
globali



SERVIZIO



## PRODOTTI AGRO-METEOROLOGICI



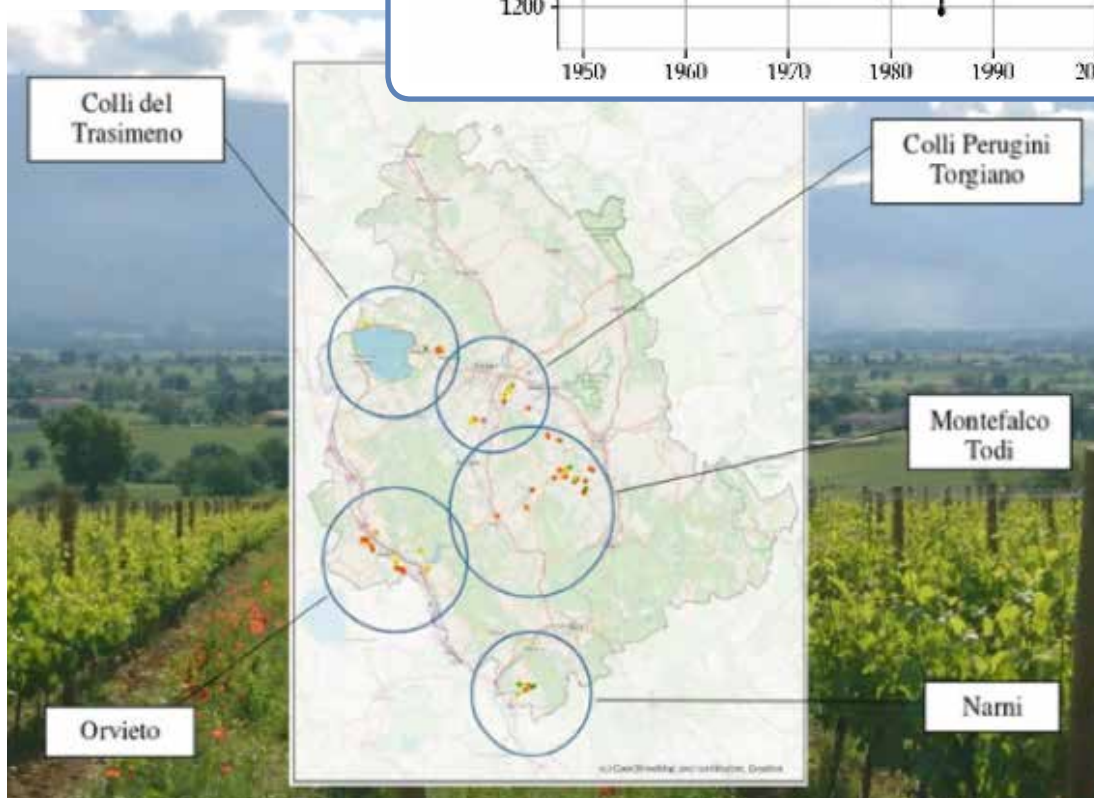
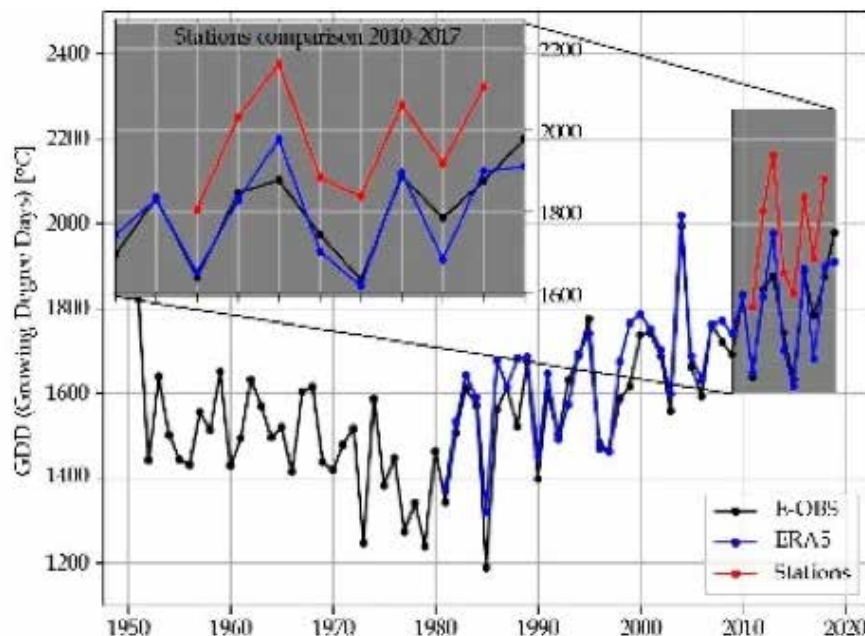
Il servizio consiste nel provvedere dati con caratteristiche che soddisfano i controlli di qualità necessari ai Decision Support Systems utilizzati sui territori regionali. Tali DSS utilizzati con questo tipo di dati sia grezzi che rielaborati puntualmente (serie storiche) che spazialmente (areali) forniscono applicazioni agro-meteorologiche (vedi progetti SmartMeteo e SpazialMeteo) con possibilità di applicazione per esempio in campo vitivinicolo e olivicolo. Aiutano a prevenire tramite applicazioni fito-sanitarie le infezioni delle varie coltivazioni che insistono sul territorio umbro e forniscono indicatori standard alla scala regionale come indici di calore (8 indici per es: SU\* giorni estivi, numero di gironi con temperatura massima giornaliera maggiore di 25 °C; TR\* notti tropicali: numero di notti con temperatura massima maggiore di 20 °C etc.), indici di siccità (3 indici, per es.: numero massimo di giorni secchi consecutivi con precipitazione RR > 1 mm), indici di freddo (10 indici, per es.: FD\* giorni di gelo, numero massimo del periodo di giorni di gelo con T < 0 °C).

AGRICOLTURA | AMBIENTE



# Dati e previsioni climatiche per l'agricoltura

*Winker index  
over Umbria Region*



## Prodotti Agrometeo

L'unione dei dati raccolti dalla rete AGRO, della rete MET e IDRO, del Radar di Monte Serano e dei modelli atmosferici (Scenario Base) forniscono una base solida per lo sviluppo di prodotti ad alta qualità specializzati per il settore Agrometeo. Inoltre questi dati, essendo aperti a tutti ed avendo già superato tutte le procedure di validazione e controllo, possono essere utilizzati direttamente nei DSS (Decision Support Systems) già comunemente utilizzati nelle aziende private e nei progetti regionali come Sm@rtmeteo. Oltre all'utilizzo diretto nei DSS esistenti e quindi alla creazione di mappe di rischio per le diverse colture a scala aziendale, questi dati possono essere elaborati per fornire informazioni agrometeorologiche a scala regionale.

I dati saranno elaborati sia a livello spaziale (mappe) su tutto il territorio Umbro, sia a livello temporale (serie temporali) sulle 7 aree strategiche per la viticoltura. Alcuni esempi di questi prodotti sono riassunti in tabella 3.3 (vedi tabella inviata)

## CONTATTI

**Referente progetto:**  
**Paolina Bongioannini Cerlini**  
E-mail: [paolina.cerlini@unipg.it](mailto:paolina.cerlini@unipg.it)  
Tel.: 3405761980



# BIOMATERIALI INNOVATIVI NELLA PREVENZIONE E TERAPIA DELLE PATOLOGIE OSSEE UMANE E ANIMALI

## Applicazione odontoiatrica contro il riassorbimento osseo alveolare



PRODOTTO

Technology Readiness Level



Rilascio di agenti bioattivi



Azione antivirale e antibatterica



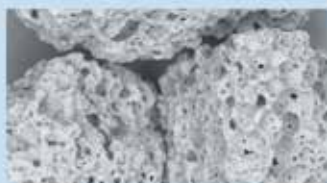
Azione pro-rigenerazione del tessuto osseo



Riassorbimento controllato del biomateriale



BTK RIGENERA  
(formulazione di fosfato di calcio bifasico)



Rivestimento con polimeri e funzionalizzazione con molecole che favoriscono la rigenerazione ossea

Valutazione dell'attività antinfiammatoria, osteogenica e antiosteoclastogenica in modelli di colture cellulari



APPLICAZIONE NELLA PREVENZIONE E NEL TRATTAMENTO DI PATOLOGIE OSSEE

## CONTROLLO LOCALE DEL RIASSORBIMENTO OSSEO!

Il prodotto consiste nel rivestimento del sostituto osseo BTK RIGENERA (Biotec srl).

BTK RIGENERA viene rivestito con diversi polimeri (idrotalcite MgAl, fosfato di zirconio, o alginato) e funzionalizzato con molecole bioattive dotate di già nota capacità di favorire l'osteogenesi operata dagli osteoblasti e/o contrastare la demolizione dell'osso mediata dagli osteoclasti. Dei nuovi preparati vengono valutate le caratteristiche strutturali, la cinetica di rilascio delle molecole bioattive e le attività citotossica, antinfiammatoria, osteogenica e antiosteoclastogenica in modelli di colture cellulari. L'obiettivo è l'applicazione in campo odontoiatrico per la rigenerazione dell'osso nell'alveolo di un dente estratto o perso.

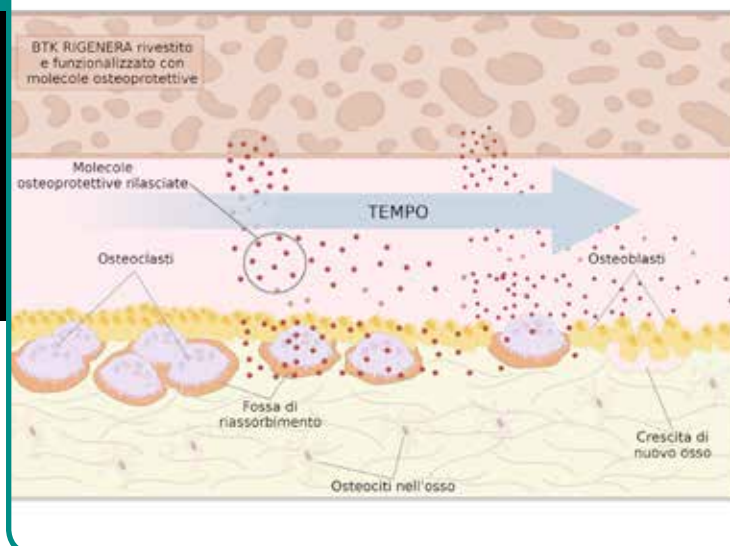
SANTÀ



## Potenziamento delle caratteristiche osteorigenerative di BTK RIGENERA

Il metabolismo osseo è un complesso e dinamico processo fisiologico che continuamente rimodella l'osso durante tutta la vita di un individuo ed è guidato dall'attività di cellule che operano con funzioni opposte, in equilibrio tra loro: gli osteoblasti che costruiscono l'osso e gli osteoclasti che lo demoliscono. Gli osteoblasti producono una matrice ossea composta principalmente da collagene e minerali, e presiedono al processo di mineralizzazione in cui il tessuto osseo acquista resistenza e durezza grazie alla formazione di cristalli di idrossiapatite. Gli osteoclasti rimuovono il tessuto osseo in una zona circoscritta e sigillata dove essi secernono enzimi idrolitici che degradano la matrice ossea. La disregolazione dell'equilibrio tra osteoclasti e osteoblasti a vantaggio dei primi è tipica di patologie caratterizzate da perdita ossea (patologie osteo-articolari, osteoporosi, artrite), ma si verifica anche nell'osso che residua intorno a un dente perso (estrazione o perdita da altra causa) e in caso di parodontite. Per recuperare la diminuzione del volume osseo si può attuare una procedura di rigenerazione dell'osso che permette di rendere il sito dentale utilizzabile per inserire l'impianto.

BTK RIGENERA è un sostituto osseo commercializzato da Biotec s.r.l. composto per il 30% da idrossiapatite a lento assorbimento e per il 70% da beta-tricalcio fosfato, una miscela che assicura un ottimo equilibrio tra porosità e stabilità e favorisce la rapida formazione di nuovo osso vitale, garantendo allo stesso tempo una stabilità meccanica e volumetrica a lungo termine. Una volta inserito nell'area da rigenerare, BTK RIGENERA va incontro ad una reazione di lenta dissoluzione, rilascia ioni calcio e fosfato, portando così alla precipitazione di idrossiapatite nella superficie dell'innesto e all'accumulo di collagene, osteoblasti e fibre di osso immaturo. La collaborazione scientifica con Biotec s.r.l. per la fornitura di BTK RIGENERA è stato il primo passo per lo sviluppo di un progetto che mira a potenziare le proprietà di questo materiale nel rigenerare l'osso e proteggerlo da perdite di volume, causate dall'aumentata attività degli osteoclasti, che si verifica in un ambiente infiammato quale è quello dell'alveolo di un dente estratto o perso.



L'azienda Prolabin & Tefarm S.r.l., partecipante al progetto, sta infatti realizzando il rivestimento del materiale BTK RIGENERA con idrotalcite MgAl o fosfato di zirconio e la sua funzionalizzazione con molecole bioattive (acido gallico, acido ferulico, berberina, melatonina), capaci di promuovere l'attività degli osteoblasti e/o inibire la formazione di osteoclasti. BTK RIGENERA sarà anche rivestito con alginato e caricato con berberina, o simvastatina. Dei nuovi preparati saranno valutate le caratteristiche strutturali, la cinetica di rilascio delle molecole bioattive e le attività citotossica, antinfiammatoria, osteogenica e antiosteoclastogenica in modelli di colture cellulari. Il lento rilascio locale delle molecole caricate dovrebbe potenziare la caratteristica già posseduta da BTK RIGENERA di indurre una rapida formazione di osso vitale e, presumibilmente, abbreviare i tempi con cui l'osso dell'alveolo di un dente estratto o perso viene rigenerato.

Oltre all'applicazione in campo odontoiatrico, l'efficacia dei preparati sviluppati in questo progetto potrà essere valutata anche per ottimizzare e innovare i protocolli di prevenzione e trattamento di patologie ossee primitive e secondarie di uomo e animali.

### CONTATTI

**Referente progetto:** Maria Laura Belladonna  
**E-mail:** [marialaura.belladonna@unipg.it](mailto:marialaura.belladonna@unipg.it)  
**Tel.:** 075.5858244



# TECNICHE DATA-DRIVEN PER LA MODELLAZIONE DI SENSORI MEMS

Algoritmi avanzati per la caratterizzazione, modellazione, controllo e diagnostica di dispositivi MEMS

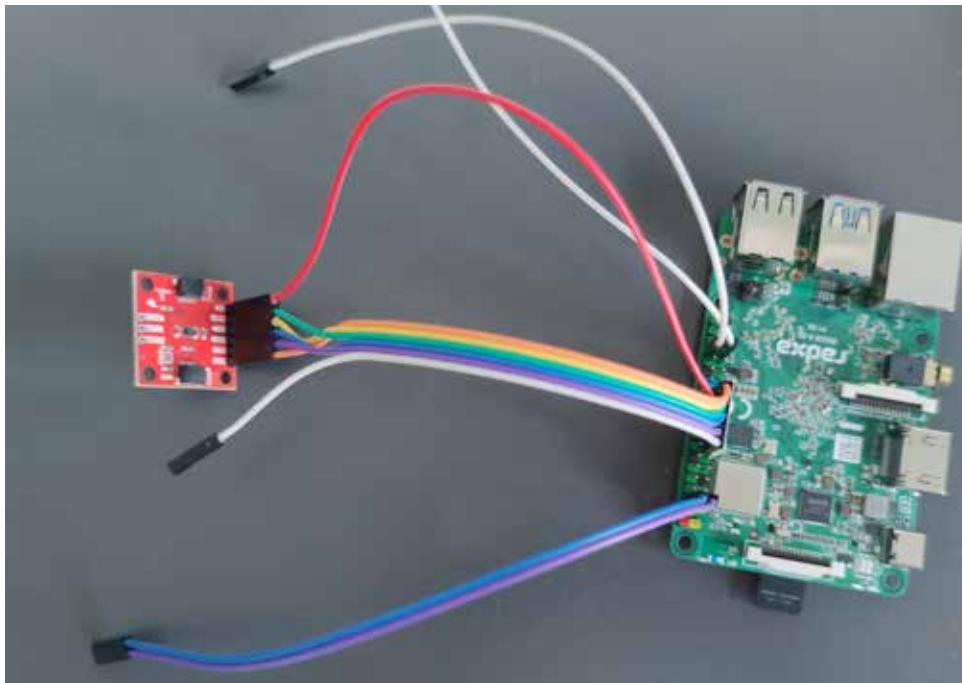
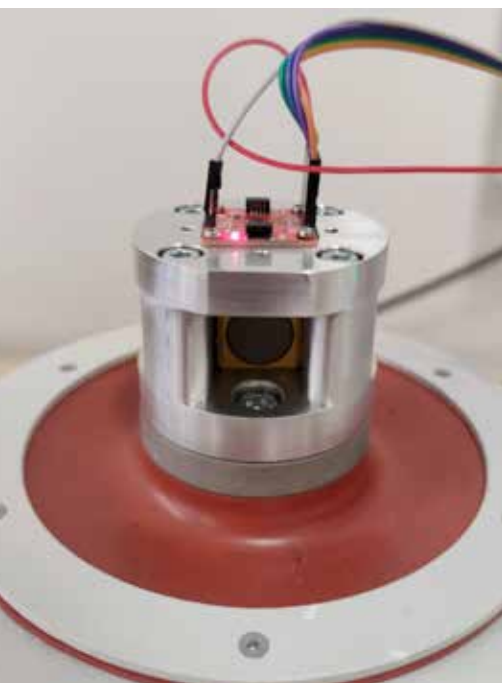
**3**  
Technology Readiness Level



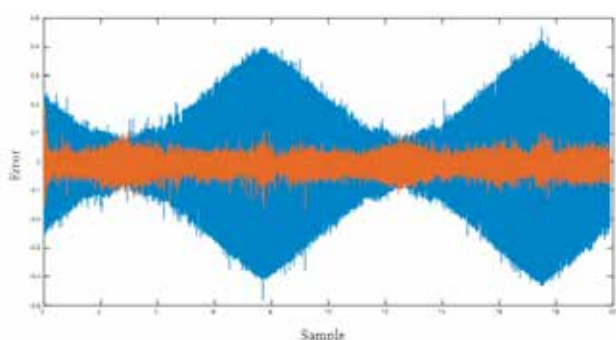
Metodologia generale,  
semplice e consolidata



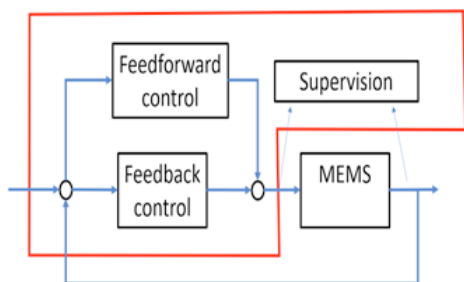
SERVIZIO



## MODELLI ACCURATI PER MEMS AD ALTE PRESTAZIONI



### ADVANCED ALGORITHMS FOR MEMS CONTROL AND SUPERVISION



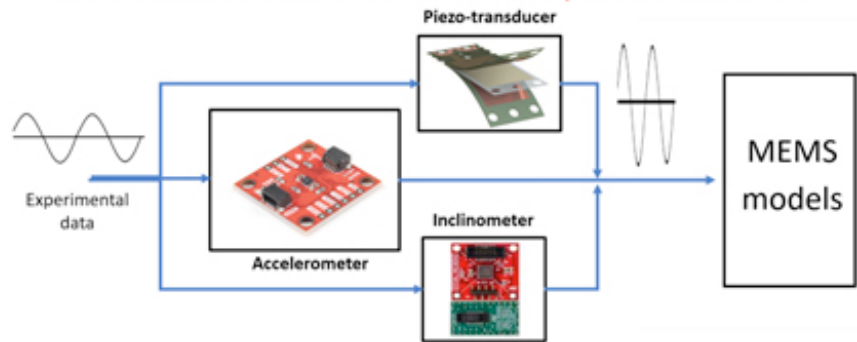
È noto che molti dispositivi MEMS e biomateriali sono caratterizzati da una risposta altamente non lineare ed incerta che ne limita le prestazioni nei contesti applicativi. Al fine di migliorare il comportamento dinamico, la precisione e ripetibilità di risposta, i consumi ed usura di questi componenti, si propone l'applicazione di tecniche di model identification e caratterizzazione delle incertezze operando nel dominio del tempo e frequenza per sensori MEMS quali accelerometri ed estensimetri.

Il servizio offerto consiste nello sviluppo di modelli matematici a partire da dati sperimentali per la caratterizzazione di dispositivi MEMS e, in modo più generale, di sistemi dinamici complessi di interesse industriale. Il servizio prevede poi l'impiego di tali modelli all'interno di procedure di elaborazione dei dati sensoriali progettate ad-hoc finalizzate al miglioramento delle risposte dei sensori MEMS (accelerometri, estensimetri, ecc.) ed allo sviluppo di applicazioni di diagnostica e supervisione dei sistemi industriali in tempo reale.



## Tecnologie basate su intelligenza artificiale per la modellazione di sensori MEMS e di sistemi dinamici complessi di interesse industriale

'Advanced algorithms for modeling, control and diagnostics of MEMS devices and microdevices based on porous biomaterials'



L'avvento della tecnologia MEMS ha permesso la realizzazione di sensori economici, miniaturizzati pur mantenendo buone prestazioni. Di conseguenza i sistemi MEMS stanno emergendo molto rapidamente nel mercato, trovando applicazioni in svariati campi come l'elettronica di consumo, la biomedicina, l'industria automobilistica e aerospaziale. Tuttavia, le prestazioni di questi sistemi rimangono limitate, soprattutto nel caso di applicazioni che necessitano un'elevata accuratezza. Ciò è causato sia dalla fase produttiva del prodotto, sia dalla dipendenza dei materiali di cui sono costituiti dalla temperatura esterna.

I complessi fenomeni chimico-fisici che influenzano i dispositivi MEMS, dunque, richiedono modellazioni sofisticate e competenze specifiche. Le tecnologie data-driven permettono di mitigare questi inconvenienti in quanto ricostruiscono solo a partire dai dati in ingresso e uscita dei modelli in grado di replicare in modo corretto il funzionamento del sistema fondamentale per ottimizzarne il controllo. Questi modelli possono adattarsi ai cambiamenti nelle condizioni operative del sensore, migliorando la robustezza e l'affidabilità delle misurazioni.

L'intelligenza artificiale (IA) e in particolare le tecniche di deep learning hanno di fatto rivoluzionato il modo in cui i dati vengono analizzati ed elaborati per l'estrazione di pattern caratteristici. In generale, le reti neurali sono in grado di apprendere rappresentazioni complesse dei dati e possono essere utili per modellare la risposta dinamica di un sensore MEMS, identificando e correggendo errori dovuti a non linearità, saturazioni, variazioni di temperatura, o altre condizioni ambientali. Un ulteriore vantaggio delle tecniche di deep learning è la capacità di eseguire una stima dell'incertezza. Questo è particolarmente importante in applicazioni critiche dove è necessario conoscere non solo la misura, ma anche quanto possiamo fidarci di essa.

Per le motivazioni sopra citate, il servizio offerto propone lo sviluppo di applicazioni software semi-automatiche volte alla calibrazione delle risposte di sensori MEMS tenendo in considerazione le incertezze causate da variabili ambientali, come

la variazione di temperatura nel luogo di utilizzo. Si propongono quindi procedure di calibrazione del sensore in condizioni statiche direttamente sul luogo di lavoro, e procedure di calibrazione dinamiche attraverso soluzioni data-driven e modelli di machine-learning per la riduzione del rumore (denoising) e per la stima dell'incertezza (uncertainty quantification) delle misure. Il denoising dei dati è infatti essenziale per ridurre il rumore nelle acquisizioni di sensori MEMS, migliorandone significativamente la qualità.

Si propongono procedure di analisi dati sensoriali basate sull'impiego dell'IA (come Reti Neurali Convolutionali, Ricorrenti, Transformer, Encoder-Decoder) e tecniche di System Identification customizzate per applicazioni di rilevamento delle anomalie in tempo reale, sviluppo di sensori virtuali e modelli di predizione di dati industriali anche di grandi dimensioni. Il rilevamento delle anomalie ed il conseguente isolamento dei componenti o sottosistemi affetti da guasti sono funzionalità fondamentali dei sistemi di monitoraggio e di supervisione autonoma per le infrastrutture come ponti o edifici o macchine industriali.

In conclusione, le tecnologie basate su IA rappresentano un approccio potente e versatile per la modellazione e il miglioramento delle prestazioni dei sensori MEMS. Grazie a queste tecniche è possibile ottenere misurazioni più precise e affidabili, riducendo l'incertezza e migliorando l'efficacia complessiva dei sistemi MEMS in un'ampia gamma di applicazioni. L'adozione di algoritmi avanzati di machine learning non solo aumenta la precisione delle misurazioni, ma contribuisce anche a una gestione più efficiente e predittiva dei sensori, aprendo la strada a nuovi sviluppi e innovazioni nel campo dei microsistemi elettromeccanici.

### CONTATTI

Referente progetto: Mario Luca Fravolini  
E-mail: [mario.fravolini@unipg.it](mailto:mario.fravolini@unipg.it)  
Tel.: 075553683



# TRACCIAMENTO DI FIRME AL GRAFENE MEDIANTE SISTEMA BASATO SULLA BLOCKCHAIN

Tracciamento di beni di valore in Blockchain con nanomateriali



Affidabilità



Sicurezza del tracciamento



Inclonabilità

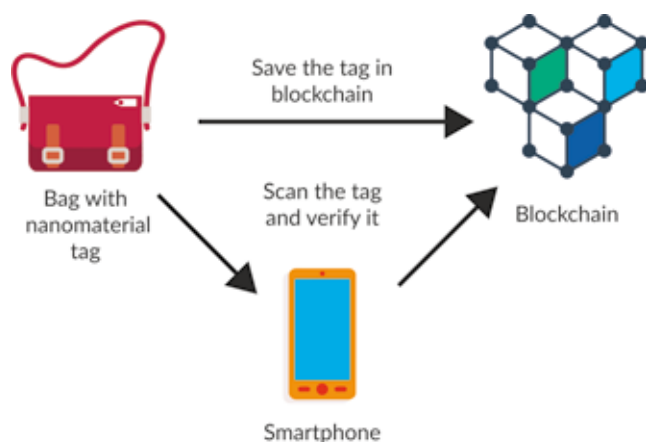


## UNA NUOVA GENERAZIONE DI TRACCIAMENTO PER SUPPLY-CHAIN

Il nostro progetto innovativo mira a rivoluzionare il modo in cui l'autenticità degli oggetti viene garantita e verificata utilizzando un sistema basato su blockchain. Grazie all'uso di nanomateriali, vogliamo sviluppare una tecnologia unica in grado di creare firme digitali inimitabili applicate direttamente sulla superficie degli oggetti. Queste firme, grazie alle loro caratteristiche fisiche uniche, risultano impossibili da contraffare, assicurando così un livello di sicurezza avanzato.

Il cuore del nostro progetto è la realizzazione di un Proof of Concept (PoC) per una piattaforma blockchain avanzata. Questa piattaforma permetterà ai clienti di verificare in tempo reale l'autenticità delle firme digitali e di tracciare la storia completa dell'oggetto su cui la firma è apposta.

La blockchain, grazie alla sua natura decentralizzata e immutabile, garantisce che tutte le informazioni registrate siano sicure e non alterabili, fornendo una trasparenza totale lungo l'intero ciclo di vita del prodotto. Immaginiamo un mondo in cui ogni acquisto di valore, dai beni di lusso alle opere d'arte, possa essere verificato istantaneamente per la sua autenticità. La nostra soluzione non solo combatte la contraffazione, ma valorizza e protegge gli investimenti dei consumatori. Inoltre, il sistema di tracciamento offre una visione completa della provenienza e della storia dell'oggetto, aggiungendo un ulteriore livello di fiducia e sicurezza.



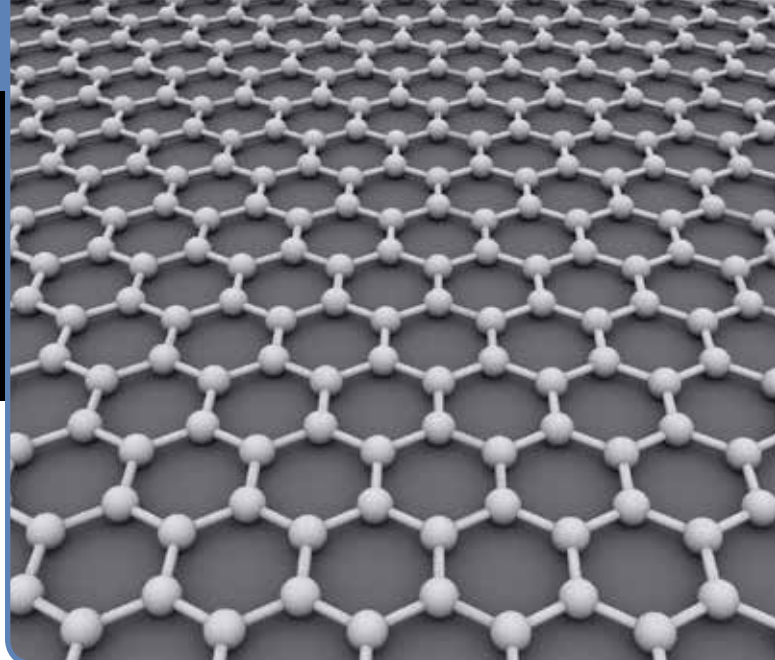
## Autenticità e Tracciabilità più sicura: La Nuova Frontiera con Nanomateriali e Blockchain

Il commercio di prodotti contraffatti e piratati costituisce circa il 2-3% dell'intero commercio mondiale, per un valore di 4-500 miliardi di dollari. Nel 2019 le importazioni rilevate di merci contraffatte e piratate in Italia sono state pari a 8,7 miliardi di Euro. La attestazione dell'autenticità di un prodotto può passare attraverso una "firma" ottica/elettronica unica ed incorporata in una "etichetta" in grafene o altro nanomateriale, che viene inclusa all'interno di un prodotto, in modo da creare un gemello digitale (o "digital twin").

Nel panorama contemporaneo, la contraffazione rappresenta una sfida crescente che mina la fiducia dei consumatori e comporta perdite significative per le aziende. In questo contesto, il nostro progetto si propone come una soluzione rivoluzionaria, sfruttando le potenzialità delle tecnologie più avanzate per garantire l'autenticità degli oggetti e tracciarne la storia. La combinazione di nanomateriali all'avanguardia e una piattaforma blockchain avanzata offre una soluzione integrata per la protezione e la valorizzazione degli oggetti di valore.

Il cuore del nostro progetto è l'implementazione di firme digitali uniche, ottenute tramite l'applicazione di superfici di nanomateriali su vari oggetti. Queste firme, grazie alle loro proprietà fisiche e chimiche, risultano impossibili da replicare, fornendo una protezione senza precedenti contro la contraffazione. I nanomateriali utilizzati sono progettati per essere altamente resistenti e stabili, garantendo che la firma resti inalterata nel tempo. Ogni firma diventa un'impronta digitale unica dell'oggetto, molto difficile da duplicare.

Parallelamente, stiamo sviluppando un Proof of Concept (PoC) per una piattaforma blockchain che sfrutta la natura decentralizzata e immutabile di questa tecnologia. La blockchain permette di registrare ogni transazione e modifica associata all'oggetto, creando una storia completa e verificabile. Questo non solo garantisce l'autenticità della firma digitale, ma permette anche di tracciare l'intero ciclo di vita dell'oggetto, dalla produzione alla vendita, e oltre.



Immaginiamo un mondo in cui ogni acquisto, che si tratti di un bene di lusso, un'opera d'arte, o qualsiasi altro oggetto di valore, possa essere verificato in modo immediato e sicuro. La nostra tecnologia consente ai consumatori di scansionare l'oggetto con un dispositivo mobile e accedere a tutte le informazioni registrate nella blockchain. Questo processo di verifica è semplice, intuitivo e rapido, eliminando ogni dubbio sulla provenienza e l'autenticità dell'oggetto.

Inoltre, il sistema di tracciamento basato su blockchain offre vantaggi significativi per i produttori e i venditori. Ogni passaggio, dalla fabbricazione alla distribuzione, viene registrato in modo trasparente e sicuro, riducendo il rischio di frodi lungo la catena di approvvigionamento. I produttori possono dimostrare l'autenticità dei loro prodotti, aumentando la fiducia dei consumatori e proteggendo la reputazione del marchio. I venditori, dal canto loro, possono offrire un valore aggiunto ai loro clienti, garantendo che ogni acquisto sia un investimento sicuro e verificabile.

### CONTATTI

**Referente progetto: Francesco Santini**  
**E-mail:** [francesco.santini@unipg.it](mailto:francesco.santini@unipg.it)



# CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI INNOVATIVI

stoichiometria sondata a diverse profondità, morfologia e funzionalizzazione



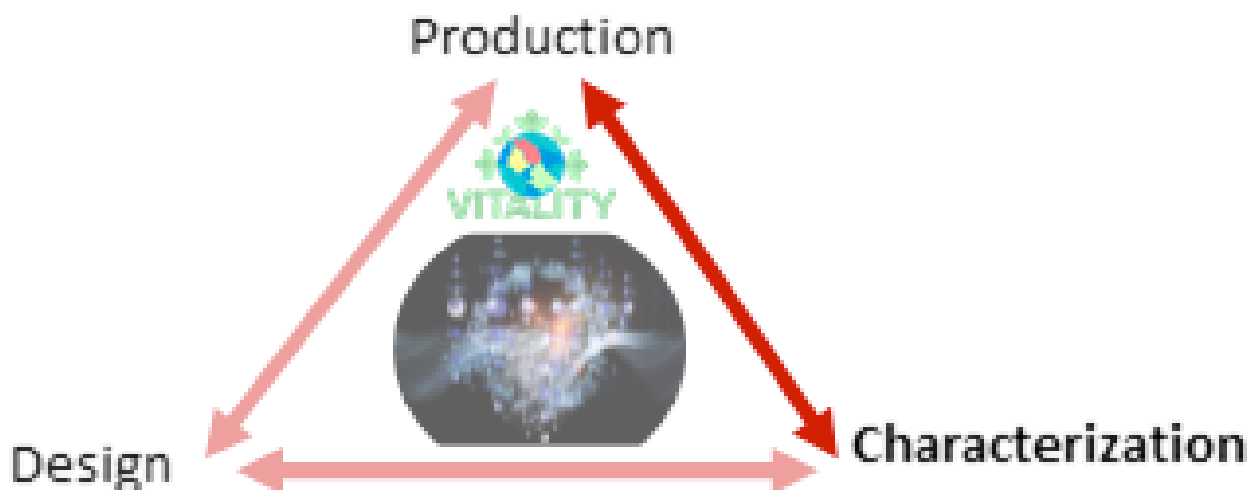
Technology Readiness Level



Proprietà elettroniche



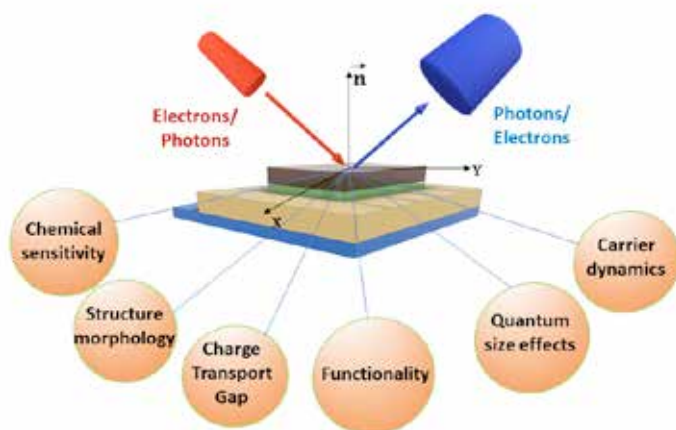
Stoichiometria sondata a diverse profondità



## CONOSCIAMO IL NANO-MONDO!

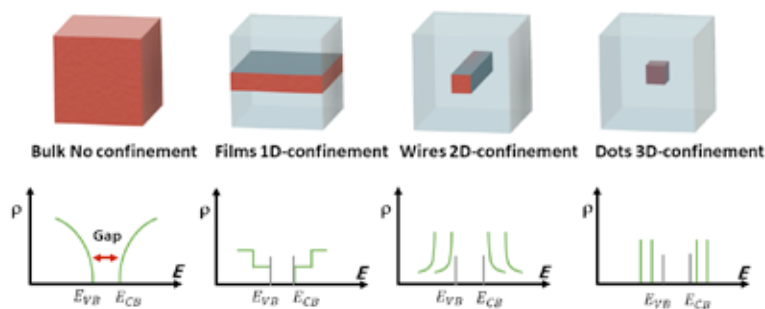
La ridotta dimensionalità dei sistemi nanostrutturati avanzati, induce proprietà del tutto nuove che richiedono un'attenta analisi.

Il nostro servizio offre la caratterizzazione stato-dell'arte mediante spettroscopie elettroniche e di assorbimento di raggi X, utilizzando le facilities del CNR-IOM di Perugia e di Trieste in collaborazione con laboratori dell'Università di Perugia. Grazie tali risorse in campus e di luce di sincrotrone del CNR-IOM presso Elettra (Sincrotrone Trieste), i nostri servizi offrono una caratterizzazione avanzata dei sistemi. Le tecniche disponibili sono principalmente la fotoemissione ad alta risoluzione (UPS e XPS), la fotoemissione inversa (IPES), l'assorbimento di raggi X (XAS). Il progetto si avvale anche della collaborazione con altri laboratori, come ad esempio il microRaman, l'AFM, assicurando una comprensione dettagliata di nuovi sistemi nanostrutturati. Mediante lo studio della correlazione fra caratterizzazione avanzata e sistemi e dispositivi, l'approccio di multi-tecnica avanzata e complementare del nostro servizio fornisce un'informazione cruciale delle proprietà morfologiche e optoelettroniche dei materiali in studio permettendo di estendere l'applicabilità e raffinando l'avanzamento tecnologico e l'ottimizzazione dei prodotti del consorzio VITALITY.



## Caratterizzazione di materiali avanzati mediante tecniche elettroniche di superficie

### Quantum confinement in Nanomaterials



ρ Electronic Density of States in Nanomaterials

Il servizio opera nell'ambito dello spoke 9 e l'attività è focalizzata sulla caratterizzazione mediante spettroscopie di materiali innovativi, a disposizione dei progetti e delle richieste di imprese del progetto VITALITY. Il punto focale della nostra ricerca, la caratterizzazione avanzata, si colloca nella filiera della progettazione, produzione e ottimizzazione delle applicazioni di materiali avanzati nanostrutturati. I componenti del gruppo di questo servizio hanno esperienza decennale in tali ricerche, come ad esempio studi di dispositivi a base di grafene e altri materiali topologici 2D e suoi derivati (ossido di grafene e ossido di grafene ridotto), nanotubi di carbonio e nanoparticelle ottimizzate per applicazioni come sensori e catalisi, film di semiconduttori organici e interfacce organico-inorganico per applicazioni fotovoltaiche, materiali per dispositivi medici e in ambito spaziale, dispositivi per detector ad alte energie.

Il Laboratorio congiunto CNR-UniPG esistente, è messo a disposizione per la caratterizzazione fine dei nanomateriali innovativi con tecniche allo stato dell'arte di spettroscopia elettronica (spettroscopia Auger, varianti della tecnica di Fotoemissione UPS, XPS, CFSYS), spettroscopia di fotoemissione inversa (IPES), diffrazione di elettroni (LEED e RHEED), topografia mediante AFM. Impiegando sorgenti in campus e di radiazione di sincrotrone la fotoemissione ad alta risoluzione energetica, la spettroscopia ottica anche risolta in tempo e raggi X (XAS) saranno utilizzabili a seconda delle esigenze del progetto.

La nostra esperienza di servizio agli utenti maturata in anni di attività su facilities in ambito nazionale e internazionale, sarà di supporto all'attività di servizio. La prima fase, cruciale dopo il contatto con il gruppo interessato, sarà la definizione del tipo di misure da effettuare e delle tempistiche possibili, includendo studi di fattibilità e di condizioni di misura, come ad esempio il tipo di tecniche da utilizzare, la preparazione eventuale di campioni specifici e altri aspetti tecnici rilevanti.

Sulla base delle richieste verranno in seguito messi a disposizione dai richiedenti e misurati i sistemi di interesse per fornire le seguenti informazioni, in funzione delle questioni da risolvere:

- Morfologia dei nanomateriali, incluse proprietà di superficie o interfaccia.
  - Composizione e stechiometria del materiale, eventualmente sondando diverse profondità nel campione.
  - Stati di ossidazione degli elementi atomici in gioco.
  - Omogeneità morfologica dei campioni.
  - Proprietà elettroniche (stati elettronici occupati misurando la banda di valenza, -stati elettronici vuoti, misurando la banda di conduzione).
  - Funzione lavoro dei campioni.
  - Misura della gap di trasporto ed eventualmente della gap ottica.
  - Stati di difetto nella gap.
  - Dispersione delle bande di energia degli stati elettronici occupati e non occupati.
  - Strutture elettroniche di confinamento quantico dovute alla riduzione di dimensionalità.
- In casi specifici studi di Dinamica tramite tecniche di pump-probe, esempi: surface-photo-voltage, dinamiche dei portatori e così via. In caso i sistemi vadano modificati (ad esempio trattamenti termici, esposizione a gas specifici e così via) dopo una prima misura, verranno concordati i protocolli di preparazione e ripetute le caratterizzazioni. Se fosse necessario, sarà anche messa a disposizione la possibilità di consulenza per richiedere tempo macchina applicando mediante proposte di utilizzo di sorgenti di luce di sincrotrone e sorgenti pulsate (Free Electron Lasers) nazionali ed internazionali, aiutando eventualmente il richiedente in tutte le fasi del processo, dalla sottomissione della proposta, all'acquisizione delle misure e l'analisi dei dati ottenuti. Infine è possibile richiedere collaborazione o assistenza per la progettazione e prototipizzazione di strumentazione avanzata, dedicata di necessità particolari.

### CONTATTI

Referente progetto:

Giovanni Carlotti e Maddalena Pedio

E-mail: [pedio@iom.cnr.it](mailto:pedio@iom.cnr.it)



# RUOLO DI UN MONOSTRATO DI FOSFORO NELL'ATTENUAZIONE DELL'INTERAZIONE ORGANICO-INORGANICO

Protezione per le molecole organiche

Technology Readiness Level



Durevole



Scalabile



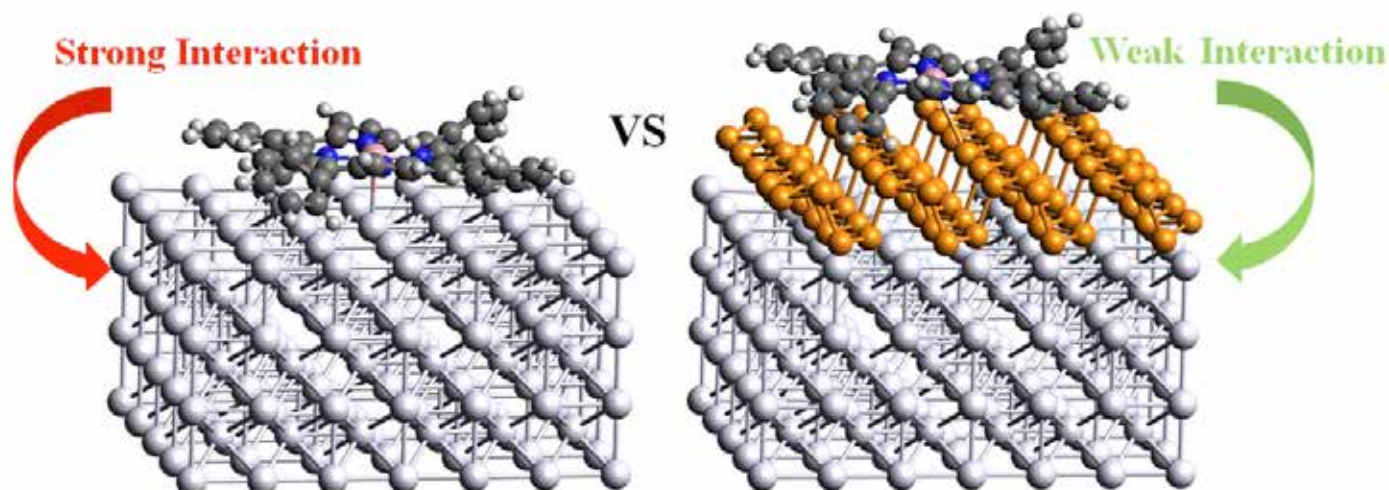
Non invasivo



Resistente alte temperature



PRODOTTO



## PROTEGGIAMO I FILM MOLECULARI!

Il prodotto consiste in un monostrato di fosforo come protezione di film di molecole organiche. In tale ambito si vuole andare a studiare film ultrasottili (spessore di un monostrato) costituiti da molecole organiche cresciute su superfici metalliche. Tale superfici possono interagire fortemente con i film depositati e, mediante la frapposizione di uno strato intermedio di fosforo, si vuole attenuare l'interazione molecola-superficie a livello atomico e molecolare. Utilizzando tecniche avanzate di spettroscopia elettronica, di microscopia e di calcolo possiamo avere una visione completa delle proprietà strutturali, morfologiche ed elettroniche delle interfacce substrato-molecola, substrato-fosforo e substrato-fosforo-molecola. Comprendere tale interazione è fondamentale per applicazioni innovative nei dispositivi sviluppati nel campo della optoelettronica e del fotovoltaico dove film organici, di spessore sub-nanometrico, formano eterogiunzioni con metalli. Questi sistemi hanno anche un grande potenziale in diverse applicazioni nei settori dell'energia, della spintronica, dell'elettronica molecolare, della catalisi eterogenea e della medicina.



## Rivestimento di fosforo per conservare le proprietà di film molecolari

I film di molecole organiche sono ottimi candidati per numerose applicazioni innovative nel campo dell'energia, della spintronica, dell'elettronica molecolare, del quantum computing, della medicina, della catalisi eterogenea (produzione di idrogeno verde, rimozione di  $\text{CO}_2$ , etc.). Fra le varie classi di molecole organiche, ultimamente si sono molto studiate i tetrapirroli (porfirine, ftalocianine,...), in quanto facilmente reperibili in commercio a basso costo e con la possibilità di essere facilmente funzionalizzate per i diversi scopi applicativi.

Le porfirine tetrafeniliche metalliche (MTPP) sono un'interessante classe di molecole organiche caratterizzate da una struttura planare ad anello con una cavità (anello tetrapirrolico) circondata da quattro gruppi fenilici liberi di inclinarsi rispetto al piano molecolare. Al centro della cavità vi è uno ione metallico, che conferisce alle molecole caratteristiche fisico-chimiche uniche, ampiamente sfruttate in natura in processi catalitici e biologici come ad esempio la clorofilla che si basa proprio su una porfirina con al centro un atomo di Mg per la sintesi clorofilliana e, anche nel sangue, abbiamo il gruppo eme con una porfirina con al centro un atomo di Fe che si occupa del trasporto e scambio di  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ . Le MTPP possono essere sublimare in un ambiente di ultra-alto vuoto (UHV) per mezzo di crogioli a effusione (celle di Knudsen) e i film organici sottili e ultrasottili (pochi monolayer fino a submonolayer) che ne derivano, sono caratterizzati da un'elevata purezza chimica e qualità strutturale che sono obbligatorie per la realizzazione di dispositivi che sfruttano le molecole di TPP. A causa della sua struttura aperta, l'anello del tetrapirrolo può essere fortemente perturbato dall'ambiente (gas, superficie,...) e questa perturbazione ha un effetto diretto sulle proprietà elettroniche e di trasporto della molecola.

Pertanto, un importante sforzo nella ricerca è rivolto alla protezione dell'anello quando le porfirine giacciono su un substrato, come nei film ultrasottili facendo attenzione, in queste condizioni, a minimizzare l'interazione molecola-substrato.



perficie, utilizzando film di ossidi metallici di vario spessore, oppure intercalare grafene o nitrato di boro esagonale come strato poco interagente con la molecola. Tuttavia, un materiale termicamente stabile, adatto al disaccoppiamento e adattabile alla crescita sui più comuni substrati metallici è ancora assente. A tale scopo, il fosforo può svolgere un ruolo importante, in quanto forma un'ampia gamma di strutture bidimensionali stabili su diverse superfici metalliche, come Cu, Pt, Au, etc. In tale contesto, risulta fondamentale lo studio sistematico della struttura, morfologia e proprietà elettroniche di film monostrato di fosforo che operino come rivestimento su diversi substrati metallici. Il P presenta il grande vantaggio di crescere con diverse strutture ordinate sui vari metalli, ed è quindi in grado di pilotare a sua volta una crescita ordinata del film di molecole organiche. I sistemi ordinati P/metallo che risultano particolarmente interessanti e promettenti diventano substrati per la deposizione ordinata di film ultrasottili (spessore massimo di pochi monostrati) di MTPP e studiati unendo i risultati del calcolo delle proprietà strutturali ed elettroniche mediante Density Functional Theory (DFT) con le misure ottenute mediante tecniche sperimentali tra loro complementari, quali la spettroscopia di fotoemissione di raggi X, la spettroscopia Auger, la spettroscopia inversa, la spettroscopia di fotoemissione a due fotoni, la diffrazione di elettroni a bassa energia e la microscopia a forza atomica. La combinazione dei risultati fornisce una completa caratterizzazione dei vari sistemi, con una particolare attenzione alle interfacce substrato-molecola, substrato-fosforo e substrato-fosforo-molecola.

### CONTATTI

Referente progetto: **Alberto Verdini**

E-mail: [verdini@iom.cnr.it](mailto:verdini@iom.cnr.it)

Tel.: 0755852729



# METODI NUMERICI PER LA PROGETTAZIONE DI NANODISPOSITIVI MAGNETICI PER MEMORIE AD ALTA DENSITÀ O TECNOLOGIA DELL'INFORMAZIONE E COMUNICAZIONE

CARATTERIZZAZIONE E MODELLI NUMERICI

Technology Readiness Level



Componenti elettronici



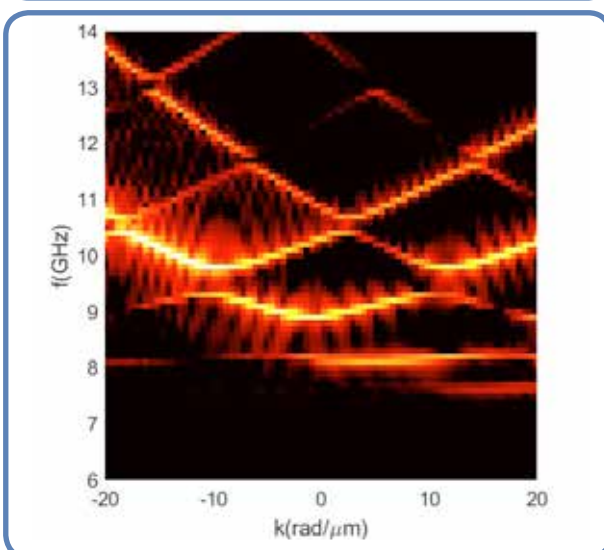
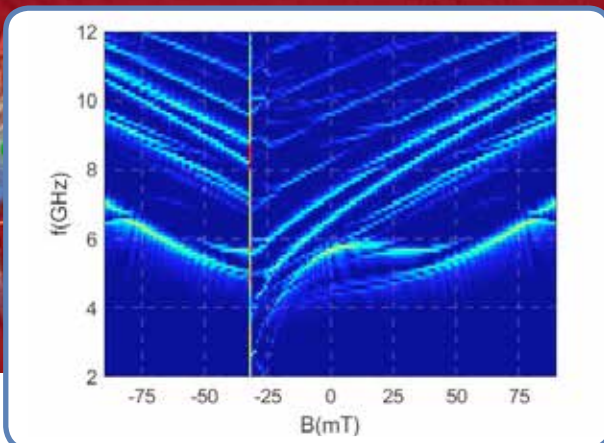
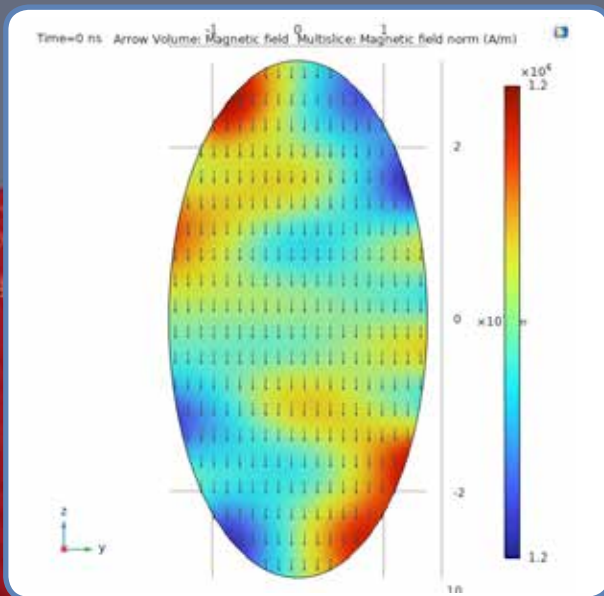
Alta densità



Sintonizzabilità



SERVIZIO



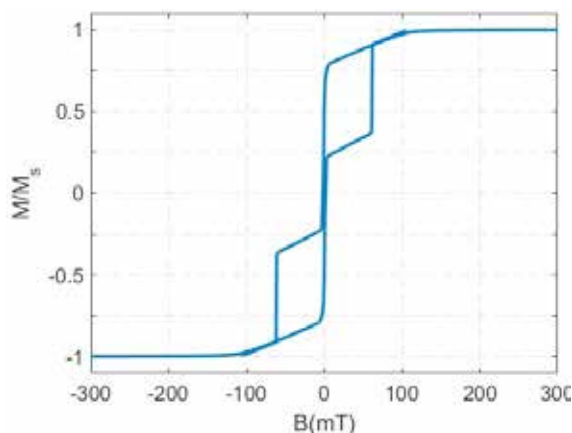
## COMPONENTI ELETTRONICI, SINTONIZZABILITÀ, ALTA DENSITÀ

L'evoluzione tecnologica ha consentito la creazione di calcolatori sempre più potenti, sia in termini di velocità di elaborazione che di capacità di gestione di un numero sempre crescente di operazioni. Questo progresso ha stimolato lo sviluppo di software di calcolo numerico che possono risolvere modelli fisici sempre più complessi e realistici. Inoltre, con l'avanzamento delle schede grafiche, sono emersi nuovi algoritmi di risoluzione numerica che sfruttano appieno le elevate prestazioni del calcolo parallelo offerto dalle Unità di Elaborazione Grafica (GPU). Tali servizi si avvalgono di metodi numerici come le differenze finite e gli elementi finiti e si rende così possibile realizzare e caratterizzare un dispositivo magnetico "virtuale" che permette di prevedere in modo affidabile il funzionamento di nano e micro-dispositivi elettronici e magnetici che potranno poi essere realizzati realmente.

ELETTRONICA | INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

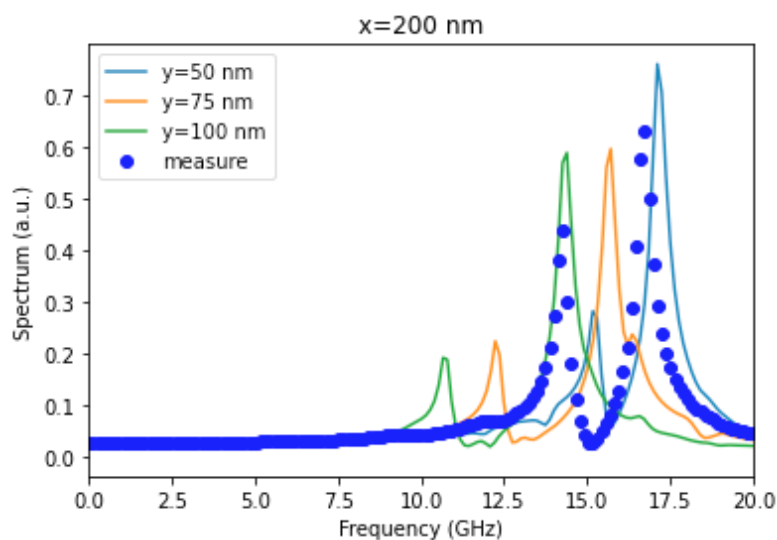


## Pacchetti software per la caratterizzazione di nano e micro dispositivi elettronici e magnetici, secondo l'approccio micromagnetico



MUMAX3 è un software open-source progettato per le simulazioni micromagnetiche, che, al pari dei pacchetti software più recenti, sfrutta il potenziale delle schede grafiche. Questo strumento impiega il metodo delle differenze finite per analizzare l'evoluzione temporale nel nanosecondo della magnetizzazione in materiali magnetici a scale micrometriche. La sua caratteristica distintiva risiede nell'essere un software numerico particolarmente efficiente nel calcolo dei campi magnetici interni ai dispositivi. Grazie al calcolo in parallelo sui numerosi processori contenuti in schede grafiche avanzate, Mumax3 riduce significativamente il tempo di elaborazione, permettendo di eseguire un elevato numero di operazioni su un vasto numero di celle che rappresentano la regione di materiale magnetico all'interno del dispositivo.

Per l'analisi numerica dell'enorme mole di dati generati da MUMAX3, il linguaggio di programmazione Python risulta particolarmente efficace e versatile. La sua estesa documentazione e la ricchezza di librerie permettono di trovare soluzioni ottimizzate per affrontare le sfide poste dall'analisi dei grandi dati. Integrare Python con il software di simulazione numerica Mumax3 consente di realizzare simulazioni e analisi più precise, fondamentali per la caratterizzazione dei materiali magnetici utilizzati nei dispositivi oggetto di studio. Un altro strumento utile nel post-processing dei dati è il linguaggio di programmazione MATLAB, che consente di estrarre in modo veloce ed efficiente informazioni fisiche cruciali del dispositivo in esame, come la sua risposta in frequenza e la relazione di dispersione dei segnali che vi si propagano e trasferiscono.



Gli algoritmi di trasformata di Fourier (FFT) implementati all'interno di MATLAB permettono di condurre un'analisi dei segnali estremamente accurata e specifica, essenziale per identificare la gamma di frequenze di funzionamento del dispositivo analizzato.

Le simulazioni micromagnetiche possono essere interfacciate anche con le potenzialità del pacchetto commerciale COMSOL Multiphysics, un software di simulazione basato sul metodo degli elementi finiti (MEF), che permette un'accurata risoluzione di equazioni differenziali parziali descriventi fenomeni fisici complessi. Questo approccio consente di modellizzare con precisione l'interazione tra diversi domini fisici, come quelli elettrici, magnetici e meccanici, supportando lo sviluppo e l'ottimizzazione di tecnologie avanzate nei settori dell'elettronica, delle telecomunicazioni e dei microsistemi. L'utilizzo dei moduli AC/DC e RF (radio-frequency) permette di ottenere una dettagliata rappresentazione numerica dei campi elettrici e magnetici in contesti dove tali campi sono fondamentali per il funzionamento dei dispositivi.

Il pacchetto MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) è dedicato all'analisi di dispositivi miniaturizzati che integrano componenti elettronici e meccanici su scala microscopica. COMSOL supporta la modellizzazione multi-fisica, permettendo di simulare interazioni tra fenomeni elettrici, magnetici, meccanici e altri, fornendo strumenti flessibili per la progettazione e l'ottimizzazione di dispositivi avanzati.

### CONTATTI

**Referente progetto: Raffaele Silvani**

**E-mail:** raffaele.silvani@unipg.it

**Tel.:** 3270556811



# CARATTERIZZAZIONE DI FILM SOTTILI E MULTISTRATI MAGNETICI

CICLI DI ISTERESI E DINAMICA DELLA MAGNETIZZAZIONE OTTENUTI DALL'ANALISI CON LA LUCE LASER

Technology Readiness Level



Componenti elettronici



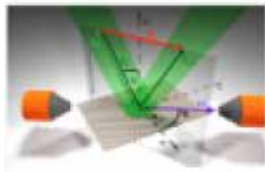
Memorie magnetiche ad alta densità



Materiali magnetici nanostrutturati

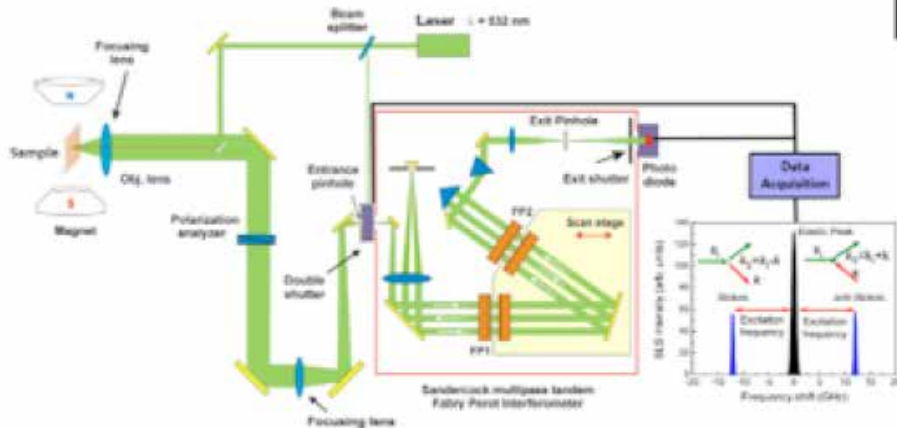


SERVIZIO



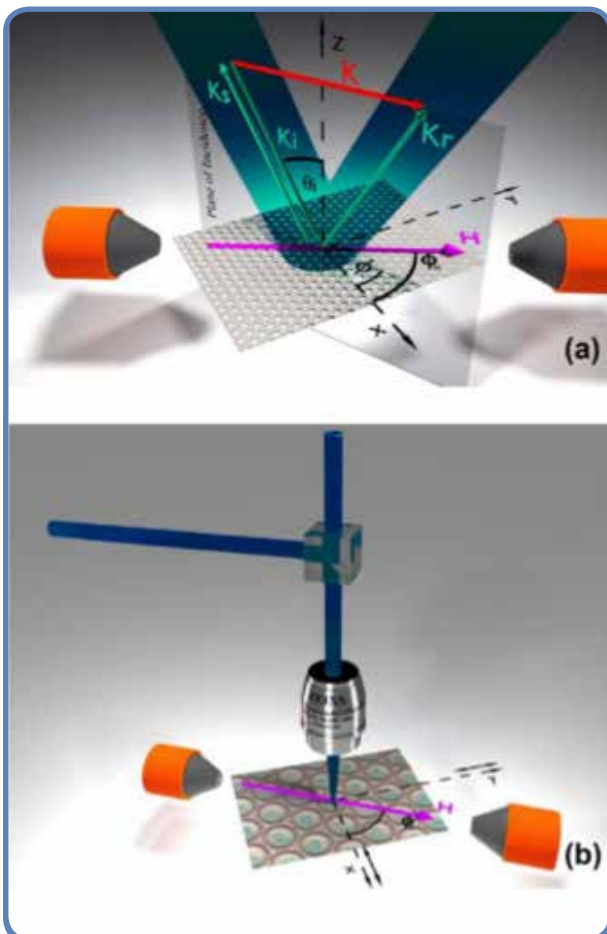
Wavevector-resolved BLS setup

- High contrast: up to  $10^{10}$
- High spectral resolution: down to 50 MHz
- Accessible frequency range: from 1 - 500 GHz
- Laser spot diameter: about 30-40  $\mu\text{m}$
- Wave vector range: 0 -  $2.3 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-1}$



Experimental parameters

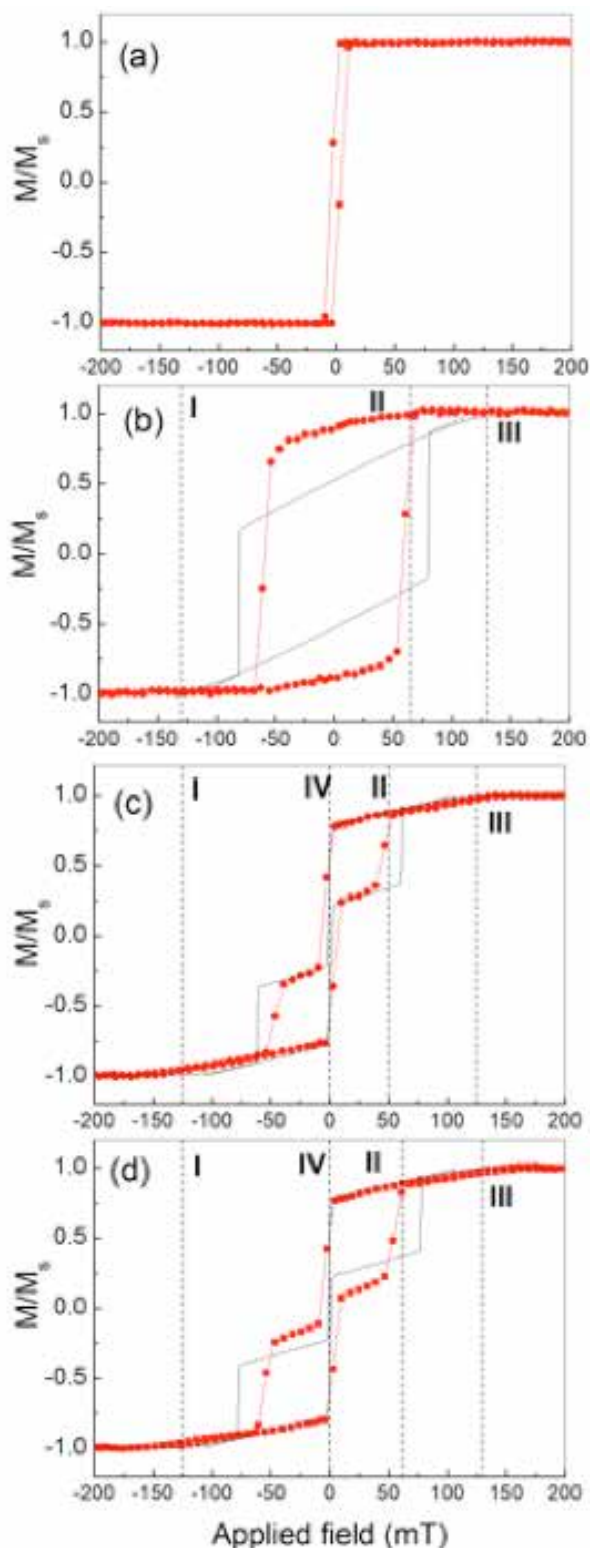
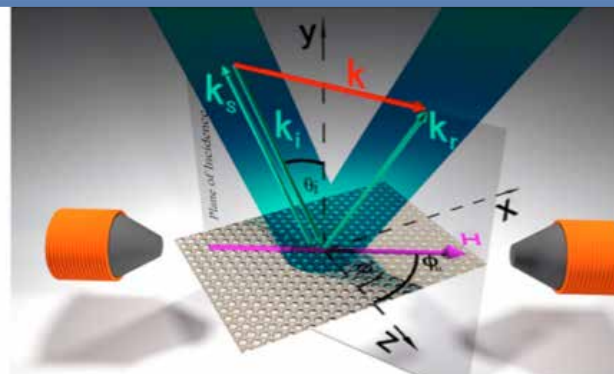
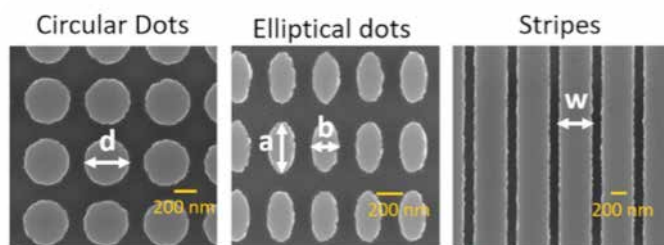
- Incidence angle of light
- Intensity of the external magnetic field
- In-plane direction of the applied field



## ANALISI DELLA VARIAZIONE DELLA POLARIZZAZIONE E DELLA FREQUENZA DELLA LUCE DELLA LUCE LASER

Utilizzando la luce di un laser polarizzato e monocromatico, è possibile ottenere informazioni sulle proprietà magnetiche di film, multistrati o campioni nanostrutturati che vengono utilizzati nei dispositivi elettronici, come memorie magnetiche e dispositivi per information and communication technology.





L'interesse verso il magnetismo di superficie è stato stimolato dalla scoperta di effetti straordinari e inaspettati, come la magnetoresistenza gigante, che hanno portato ad applicazioni crescenti di film, multistrati e nanostrutture magnetiche nella realizzazione di dispositivi elettronici e spintronici. Tra le tecniche che hanno recentemente dimostrato di poter fornire informazioni riguardo alle tematiche sopra descritte vi è la spettroscopia di luce Brillouin di superficie (SBS).

Questa si basa sul processo di diffusione anelastica (inelastic scattering) della luce da parte delle onde di spin di superficie presenti nel mezzo in esame per attivazione termica. Tali eccitazioni collettive, infatti, possono accoppiarsi con la luce incidente dando luogo a luce diffusa con frequenza diversa da quella incidente. Si è mostrato come una analisi quantitativa degli spettri Brillouin permetta di ottenere informazioni dirette sulla direzione di equilibrio della magnetizzazione, sulle anisotropie magnetiche, sull'accoppiamento di scambio e dipolare tra strati magnetici, sull'ordine chirale e su altre importanti caratteristiche dei campioni magnetici nanostrutturati.

Una seconda tecnica di indagine sperimentale che si è affermata nell'ultimo decennio è quella basata sull'effetto Kerr Magneto-Ottico di superficie (SMOKE), che permette di misurare i cicli di isteresi di film ultrasottili, fornendo informazioni complementari a quelle ottenibili mediante la Spettroscopia Brillouin. L'effetto Kerr si basa sull'analisi della variazione della polarizzazione della luce (anziché della frequenza come nella spettroscopia Brillouin), dopo che essa ha interagito con il campione in esame.

Entrambe queste tecniche sono assolutamente non distruttive e necessitano di un campione di dimensioni anche molto piccole (inferiori a un millimetro), purché la superficie sia di qualità ottica con ridotta rugosità superficiale.

## CONTATTI

Referente progetto: **Marco Madami**  
E-mail: [marco.madami@unipg.it](mailto:marco.madami@unipg.it).





## Ecosistema di Innovazione, Digitalizzazione e Sostenibilità per l'economia diffusa nel centro Italia

[vitality.unipg.it](http://vitality.unipg.it)



Progetto finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - Missione "Dalla Ricerca all'impresa" (Missione 4, Componente 2, investimento 1,5).

Codice progetto ECS00000041